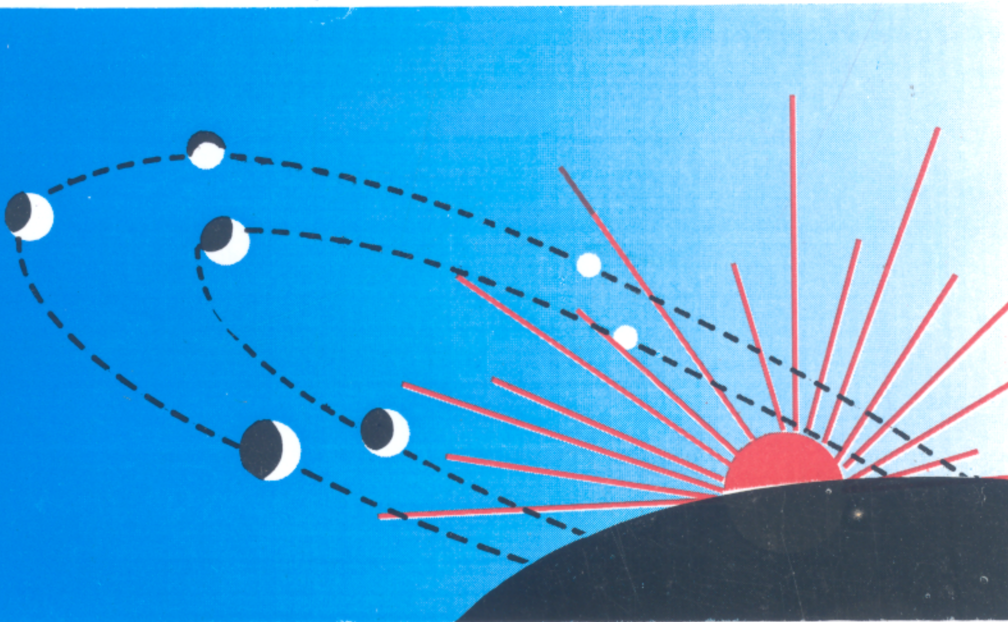
SP ĐẠI HỌC SƯ PHẠM

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

# GIÁO TRÌNH THIÊN VĂN



GD

PHẠM VIẾT TRINH - NGUYỄN ĐÌNH NOÃN

# GIÁO TRÌNH
# THIÊN VĂN

(Đã được Hội đồng Thẩm định sách của Bộ Giáo dục
(nay là Bộ Giáo dục và Đào tạo) giới thiệu làm sách dùng chung
cho các trường Đại học Sư phạm)

*(Tái bản lần thứ bảy)*

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

"Trái Đất là cái nôi trí tuệ, nhưng không vì thế mà con người cứ phải ở mãi trong nôi. Việc bước ra khỏi nôi cần được thực hiện sớm, không phải vì cái nôi này quá chật, mà trước hết vì sức mạnh kiến thức con người thu nhận được ở bên ngoài nôi, từ trong vũ trụ sẽ làm cho con người sáng suốt hơn, hạnh phúc hơn..."

XIÔNCÔPXKI

*Chịu trách nhiệm xuất bản :*

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI

Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

*Biên tập nội dung :*

PHẠM HỒNG TUẤT

NGUYỄN NGUYỆT TRUNG THU

*Biên tập tái bản :*

PHẠM QUANG TRỰC

*Biên tập kĩ thuật :*

TRẦN THU NGA

*Sửa bản in :*

TRẦN THỊ OANH

*Chế bản :*

PHÒNG CHẾ BẢN (NXB GIÁO DỤC)

19–2006/CXB/268–2056/GD Mã số : 7K106T6–DAI

## LỜI NÓI ĐẦU

*Hết ngày lại đêm, ban ngày có Mặt Trời, ban đêm có Trăng, Sao... Những hiện tượng muôn hình muôn vẻ trong bầu trời đã kích thích óc tò mò và trí tưởng tượng của nhiều người.*

*– Vũ trụ cấu tạo như thế nào ?*

*– Quy luật vận động và bản chất của các thiên thể ra sao ?*

*– Có mối liên hệ gì giữa bầu trời và Trái Đất ?*

*Đó là những nội dung nghiên cứu cơ bản của Thiên văn học.*

*Cũng như các khoa học khác, Thiên văn học ra đời từ nhu cầu của đời sống. Điều đáng chú ý là Thiên văn học ra đời sớm vào bậc nhất ở các dân tộc có nền văn hóa sớm phát triển như Hi Lạp, Ai Cập, Babilon, Trung Quốc,... hàng ngàn năm trước đây và hiện nay nó cũng là một mũi nhọn của khoa học hiện đại.*

*Giáo trình này được biên soạn theo chương trình Thiên văn học dành cho các Trường Đại học Sư phạm do Bộ Giáo dục và Đào tạo quy định. Với nội dung chương trình ấy, chúng tôi cố gắng xây dựng cuốn sách theo ba mục tiêu sau :*

*– Trình bày những kiến thức tổng quát về vũ trụ nhằm làm cho sinh viên nắm được những tri thức thiên văn cơ bản nhất, phổ biến nhất để làm tốt công tác giảng dạy ở phổ thông và có khả năng tuyên truyền, giải thích góp phần bài trừ những tập tục mê tín dị đoan.*

*– Trình bày những hiện tượng thiên văn, những ứng dụng thiên văn phục vụ đời sống.*

*– Sử dụng những công cụ toán học, những định luật và phương pháp vật lí vào nghiên cứu các thiên thể để giúp cho sinh viên thấy được phương pháp vận dụng những tri thức toán học và vật lí học vào nghiên cứu các vấn đề cụ thể, góp phần củng cố những tri thức toán, lí đã học.*

*Cuốn giáo trình này được xuất bản năm 1986. Năm 1994 in lại có sửa chữa.*

*Lần tái bản này, chúng tôi có bổ sung những thành tựu mới của Thiên văn học.*

*Chúng tôi hoan nghênh những ý kiến nhận xét của các bạn để giúp cho việc tái bản lần sau hoặc biên soạn một giáo trình Thiên văn mới có chất lượng cao hơn.*

TÁC GIẢ

# PHẦN MỞ ĐẦU

## A – ĐỐI TƯỢNG VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Thiên văn học là khoa học nghiên cứu các thiên thể – những vật thể tồn tại trong bầu trời – như các sao, Mặt Trời, các hành tinh, các sao chổi, các thiên hà v.v...

Nội dung nghiên cứu có thể chia làm ba phần :

– Phát hiện quy luật chuyển động của các thiên thể, kể cả quy luật chuyển động của Trái Đất.

– Nghiên cứu về thành phần cấu tạo và bản chất vật lí của các thiên thể.

– Nghiên cứu về sự hình thành và tiến hóa của các dạng tồn tại của vật chất trong vũ trụ.

## B – PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu đặc thù của Thiên văn học là phương pháp quan sát và quan trắc từ xa.

Bằng mắt thường và chủ yếu bằng kính Thiên văn người ta theo dõi sự di chuyển của các thiên thể để phát hiện ra quy luật chuyển động. Bằng quan trắc và chụp ảnh phổ bức xạ của các thiên thể để nghiên cứu lí tính của chúng... Rõ ràng các nhà thiên văn không thể tự tạo ra những thí nghiệm để nghiên cứu như các nhà khoa học tự nhiên khác. Có thể nói rằng phòng thí nghiệm của các nhà thiên văn học là cả vũ trụ vô tận.

Chỉ vài ba chục năm trở lại đây, với sự tiến bộ của khoa du hành vũ trụ, Thiên văn học có thêm một khả năng nghiên cứu

mới có tính chất thực nghiệm hơn. Đó là việc đặt các kính thiên văn trong các vệ tinh nhân tạo, trong các tàu vũ trụ và cả việc đổ bộ lên thiên thể khác, trước hết là lên một số thiên thể trong hệ Mặt Trời của chúng ta.

## C – Ý NGHĨA CỦA VIỆC NGHIÊN CỨU THIÊN VĂN HỌC

Cũng như các khoa học khác, thiên văn học ra đời từ nhu cầu của đời sống. Điều đáng chú ý là thiên văn học ra đời sớm vào bậc nhất, đã hàng ngàn năm nay.

Thiên văn đo đạc với mục đích xác định phương hướng, thời gian, tọa độ địa lí... rất cần thiết cho nhiều ngành hoạt động của một xã hội. Quả vậy việc xây dựng kế hoạch nhà nước, việc điều khiển các máy móc tự động trong các công xưởng, nhà máy, hầm mỏ, trên các tuyến giao thông không thể nào tiến hành được tốt nếu không có lịch, không có thời gian chính xác. Việc xây dựng các bản đồ địa lí địa chất... việc xác định các con nước, thủy triều, việc xác định gia tốc trọng trường ở các điểm khác nhau trên mặt đất với mục tiêu thăm dò khoáng sản, việc đi lại giữa biển khơi và trên bầu trời không thể nào tiến hành được nếu như không có tri thức thiên văn, không có phương pháp quan sát và kết quả đo đạc của thiên văn học. Ngày nay việc sử dụng các thiên thể nhân tạo (vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ, trạm tự động giữa các hành tinh) phục vụ cho phát triển kinh tế và quốc phòng lại càng gắn chặt với các tư liệu nghiên cứu của thiên văn học.

Thiên văn vật lí với nội dung nghiên cứu lí tính của các thiên thể đã giúp con người nghiên cứu vật chất dưới nhiều hình thức và trạng thái khác nhau mà những hình thức và trạng thái này không thể nào thực hiện được trong các phòng thí nghiệm. Những kết quả nghiên cứu của thiên văn vật lí đã góp phần thúc đẩy cơ học, vật lí học, hóa học... phát triển. Chỉ cần dẫn chứng việc giải phóng thành công năng lượng hạt nhân hiện nay đã được bắt nguồn từ nghiên cứu nguồn gốc năng lượng khổng lồ của

Mặt Trời, của các sao tức là từ những kết quả nghiên cứu và gợi mở của các nhà thiên văn vật lí lí thuyết.

Những kết quả nghiên cứu của thiên văn học còn có ý nghĩa rất to lớn trong việc xây dựng vũ trụ quan duy vật góp phần chống lại tư tưởng duy tâm, thần bí và bài trừ mê tín dị đoan. Bằng các kết quả nghiên cứu, các nhà thiên văn cho ta thấy những hiện tượng muôn hình muôn vẻ diễn ra trong vũ trụ là những dạng tồn tại khác nhau của vật chất không ngừng vận động và biến hóa theo những quy luật của tự nhiên chứ không phải do ý muốn của một "đấng sáng tạo" nào !

Chính vì có tác dụng nhiều mặt đến cuộc sống nên tuy ra đời rất sớm, hiện nay Thiên văn học vẫn là một mũi nhọn của nền khoa học hiện đại.

Cha ông ta cũng đã sớm nhận thức : Thiên địa tinh thông. Từ thời Lý, Trần nước Đại Việt đã lập ra *Khâm thiên giám* để quan sát thiên văn, làm lịch. Nhiều nhà Thiên văn tài ba đã xuất hiện như Trần Nguyên Đán, Lê Quý Đôn...

Do những cuộc chiến tranh vệ quốc ác liệt kéo dài mà đất nước đã không có điều kiện xây dựng thiên văn học. Hiện nay trong thời kì hòa bình xây dựng, hi vọng rằng thiên văn học sẽ có vị trí nhất định để nó phát huy được tác dụng trong đời sống xã hội và để cho Việt Nam ta hòa nhập dần với trình độ phát triển của khoa học thế giới.

# Chương I

# HỆ MẶT TRỜI TRONG VŨ TRỤ

## §1. TỔNG QUAN VỀ CẤU TRÚC VŨ TRỤ

Những kết quả quan trắc và nghiên cứu chứng tỏ rằng vũ trụ là vô tận. Trong phần vũ trụ mà con người đã tìm hiểu được (bán kính đến hàng tỉ năm ánh sáng)*) thì vật chất tồn tại dưới dạng dễ nhận biết nhất là *các sao*, tức là những thiên thể khổng lồ nóng sáng – những Mặt Trời.

Các sao phân bố trong không gian không đều. Chúng tập trung thành những hệ có hình dạng xác định gồm hàng trăm tỉ sao và được gọi là các *thiên hà*. Các thiên hà thường có dạng elipxôit, dạng đĩa xoắn... với đường kính từ hàng chục đến hàng trăm ngàn năm ánh sáng. Khoảng cách trung bình giữa các thiên hà vào cỡ chục lần lớn hơn kích thước của mỗi thiên hà. Các sao trong mỗi thiên hà phân bố cũng không đều, đa số tập trung vào một mặt phẳng xác định được gọi là mặt phẳng chính của thiên hà.

Thiên hà trong đó có hệ Mặt trời được gọi là *Thiên hà của chúng ta* bao gồm các sao mà ta nhìn thấy bằng mắt thường (khoảng sáu ngàn sao) và hơn một trăm tỉ sao khác chỉ có thể quan sát qua các kính thiên văn. Những đêm trời quang nếu ta nhìn theo phương mặt phẳng chính của thiên hà của chúng ta

---

*) Năm ánh sáng là đơn vị đo khoảng cách có độ dài bằng quãng đường ánh sáng truyền trong chân không trong một năm.

thì sẽ thấy một dải sáng quen gọi là giải Ngân Hà. Ngoài ra ta còn có thể thấy được một số thiên hà khác (những thiên hà ở gần thiên hà của chúng ta) dưới dạng những vết sáng nhòe yếu ớt và vì thế mà chúng còn được gọi là các *tinh vân*. Qua kính thiên văn cực mạnh ta có thể nhìn thấy một số sao riêng biệt cấu tạo nên các tinh vân ấy. Trong khoảng không giữa các sao còn có vật chất tồn tại dưới dạng bụi, khí, các hạt cơ bản, trường điện từ và trường hấp dẫn. Rõ ràng các đám bụi khí vũ trụ làm cản trở khả năng nhìn xa của chúng ta.

Mặt Trời là một trong số các sao cấu tạo nên thiên hà của chúng ta. Quanh Mặt Trời có các *hành tinh* chuyển động và quanh các hành tinh còn có các *vệ tinh*. Các kết quả quan trắc cho biết chung quanh nhiều ngôi sao khác cũng có các hành tinh chuyển động, tương tự như hệ Mặt Trời.

Thành tựu nghiên cứu của thiên văn học khẳng định rằng vật chất trong vũ trụ vận động và biến đổi không ngừng. Chẳng những các hành tinh chuyển động quanh các sao, mà chính các sao trong mỗi thiên hà, cũng như bản thân các thiên hà đều chuyển động trong không gian.

## §2. TỪ TRÁI ĐẤT QUAN SÁT BẦU TRỜI

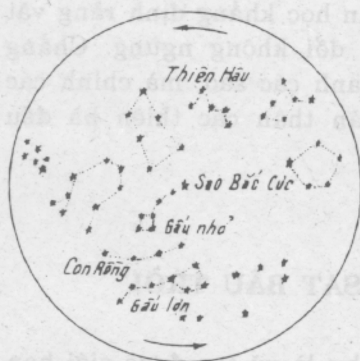
Nhìn lên bầu trời ta có cảm giác như là vũ trụ được giới hạn bởi một vòm cầu trong suốt (trên đó có gắn các thiên thể) mà trung tâm là nơi ta đứng. Vòm trời tưởng tượng này được gọi là *thiên cầu*.

Những đêm trời quang, bầu trời đầy sao lấp lánh. Bằng mắt thường ta có thể nhìn được khoảng 6000 sao. Đó là những sao ở gần Trái Đất nhất. Bằng kính thiên văn người ta thấy được hàng chục tỉ sao và hàng triệu thiên hà ở ngoài thiên hà của chúng ta. Khoảng cách từ Trái Đất đến các thiên thể rất lớn. Mặt Trời ở cách ta 150 triệu km (ánh sáng từ Mặt Trời truyền đến Trái Đất mất 8 phút). Cận Tinh là sao gần Trái Đất nhất

đã cách ta đến 4,3 năm ánh sáng. Thiên hà xa nhất mà hiện nay con người nhìn tới được ở cách ta hàng tỉ năm ánh sáng.

Mặc dù các sao đều chuyển động trong không gian, nhưng vì chúng ở quá xa nên ta thấy vị trí tương đối giữa chúng hầu như không đổi. Đây là điều kiện thuận lợi để ta dễ làm quen với bầu trời sao.

Người xưa đã nhóm tưởng tượng các sao trông thấy ở gần nhau thành từng chòm và đã đặt tên cho các *chòm sao*. Nguyên tắc đặt tên là : chòm có hình dạng một con vật nào đó thì lấy tên con vật ấy, ví dụ chòm : Con gấu, chòm Song tử (H. 1b) ; nếu không có hình dạng cụ thể thì được đặt theo tên các nhân vật thần thoại, ví như chòm Thiên Hậu, chòm Tiên Nữ...




*a* – Các chòm sao ở bầu trời Bắc.




*b* – Các chòm sao được đặt tên theo hình dạng

*Hình 1*

Một số sao sáng cũng đã được đặt tên, thí dụ : Thiên Lang (sao sáng nhất bầu trời), Chức Nữ, Ngưu Lang... Từ thế kỉ XVII tất cả các sao trong các chòm đều được kí hiệu theo các chữ cái Hi Lạp ($\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$...). Như vậy tất cả các sao mà mắt ta nhìn thấy trong bầu trời đã có "địa chỉ" rõ ràng (tên gì, thuộc chòm sao nào, ở khu vực nào của bầu trời).

Làm quen bầu trời sao, trước hết là biết các chòm sao thì ta có khả năng phát hiện những thiên thể "lạ". Người cổ Hi Lạp đã ghi nhận 5 "ngôi sao" không thuộc một chòm nào. Các sao này từ từ chuyển động qua các chòm sao và được gọi là hành tinh.*

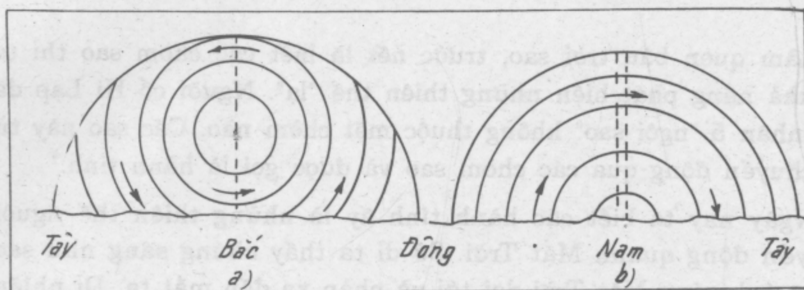
Ngày nay ta biết các hành tinh ấy là những thiên thể nguội chuyển động quanh Mặt Trời. Sở dĩ ta thấy chúng sáng như sao là do ánh sáng Mặt Trời dọi tới và phản xạ đến mắt ta. Dĩ nhiên nếu như ta đứng trên mỗi hành tinh này thì ta cũng sẽ thấy Trái Đất sáng như một ngôi sao vậy.

## §3. NHẬT ĐỘNG CỦA BẦU TRỜI. XÁC ĐỊNH PHƯƠNG HƯỚNG

Ban ngày ta thấy Mặt Trời quay đều trên thiên cầu theo một chiều nhất định. Ban đêm Mặt Trăng và các sao cũng quay theo chiều đó. Ta có cảm giác, như là toàn bộ thiên cầu (trên đó gắn Mặt Trời, Mặt Trăng, các sao...) đang quay đều quanh một trục xuyên qua nơi ta đứng và quay tròn một vòng trong một ngày đêm. Hiện tượng quay này được gọi là *nhật động*.

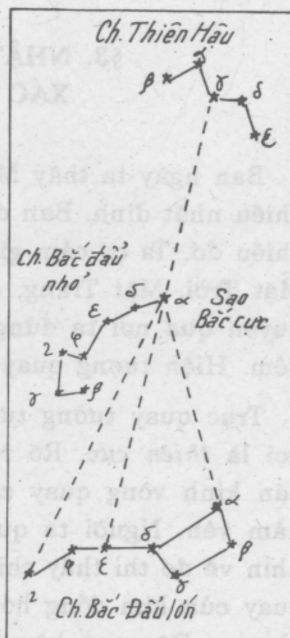
Trục quay tưởng tượng này cắt thiên cầu tại hai điểm được gọi là *thiên cực*. Rõ ràng những sao ở càng gần thiên cực có bán kính vòng quay càng nhỏ và sao ở ngay tại thiên cực thì nằm yên. Người ta quy ước thiên cực Bắc là thiên cực mà ta nhìn về đó thì thấy chiều nhật động của các sao ngược với chiều quay của kim đồng hồ. Đứng nhìn như vậy thì bên tay phải là phương Đông và bên tay trái là phương Tây. Với quy ước này thì bầu trời nhật động theo chiều từ đông sang tây (các thiên thể mọc ở phương Đông, lặn ở phương Tây). Như vậy muốn xác

* Thủy tinh, Kim tinh, Hỏa tinh, Mộc tinh, Thổ tinh.




*Hình 2* – Vòng nhật động của các sao quanh thiên cực.
a) Ngược chiều kim đồng hồ (nhìn về thiên cực Bắc)
b) Cùng chiều kim đồng hồ (nhìn về thiên cực Nam)

định đúng bốn phương trên mặt đất ta chỉ cần xác định được phương Bắc tức là phương hướng đến thiên cực Bắc. Có một ngôi sao nằm rất gần thiên cực Bắc (cách thiên cực Bắc khoảng $1^{o}$) được gọi là *sao Bắc Cực*. Nó là sao sáng nhất (sao $\alpha$) trong chòm Bắc Đẩu nhỏ* (chòm Con Gấu nhỏ). Trong thực tế người ta xác định phương Bắc qua xác định vị trí của sao Bắc Cực. Muốn tìm sao Bắc Cực, trước hết người ta phải tìm được chòm Bắc Đẩu lớn* (Chòm Con Gấu lớn). Trong chòm này có 7 sao khá sáng (H. 3). Tưởng tượng kéo dài đoạn $\alpha\ \beta$ rồi ước lượng trên đường kéo dài đó một đoạn bằng khoảng 5 lần đoạn $\alpha\ \beta$ thì mút của đoạn kéo dài tưởng tượng này gần trùng với một sao, đó là sao Bắc Cực (sao $\alpha$ của chòm Bắc Đẩu nhỏ, gồm 7




*Hình 3* – Tìm sao Bắc Cực

* Có sách viết chòm Tiểu Hùng Tinh, chòm Đại Hùng Tinh.

sao có dạng gần giống như chòm Bắc Đẩu lớn). Người đứng ở Hà Nội luôn luôn thấy sao Bắc Cực nằm cao trên chân trời Bắc khoảng $21^{o}$, người đứng ở thành phố Hồ Chí Minh thì thấy sao Bắc Cực ở thấp hơn (khoảng $10^{o}$. Sẽ hiểu rõ ở chương IV).

Cần chú ý rằng chòm Bắc Đẩu lớn ở cách thiên cực Bắc khoảng $30^{o}$ nên đối với người quan sát ở Việt Nam ta thì trong mỗi vòng nhật động có khi nó khuất dưới chân trời. Trong thời gian này, ta có thể tìm sao Bắc Cực qua chòm Thiên Hậu (nằm gần đối xứng với chòm Bắc Đẩu lớn qua sao Bắc Cực). Chòm Thiên Hậu có 5 sao khá sáng tạo thành dạng chữ M. Hãy kéo tưởng tượng đường vuông góc với đoạn $\gamma\delta$ thì đường này đi qua sao Bắc Cực (sao Bắc Cực ở cách chòm Thiên Hậu một khoảng bằng 10 lần đoạn $\gamma\delta$).

Như vậy nếu ta làm quen được với 2 chòm sao Bắc Đẩu lớn và Thiên Hậu thì ban đêm ta có thể xác định được phương Bắc một cách dễ dàng.

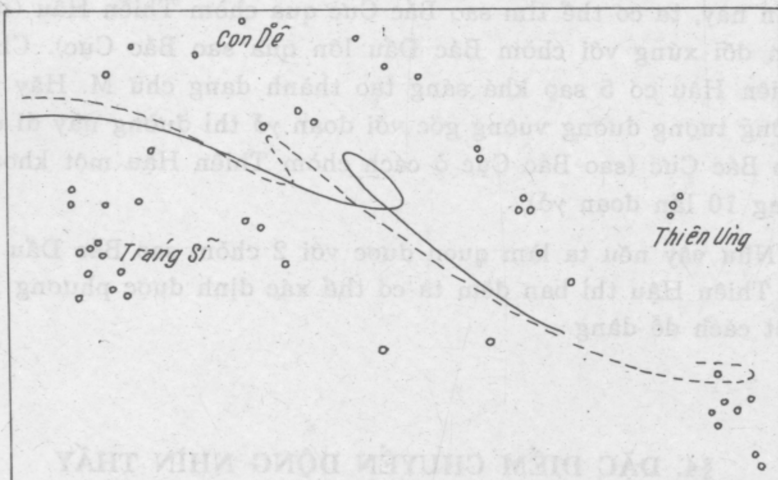
## §4. ĐẶC ĐIỂM CHUYỂN ĐỘNG NHÌN THẤY CỦA MẶT TRỜI, MẶT TRĂNG VÀ CÁC HÀNH TINH TRÊN NỀN TRỜI SAO

Ta đã biết, toàn bộ thiên cầu sao nhật động đều quanh Trái Đất và vị trí tương đối giữa các sao không đổi (dạng các chòm sao không đổi). Nếu chú ý quan sát trong nhiều ngày thì ta có thể nhận thấy Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh từ từ thay đổi vị trí đối với các chòm sao (chúng không thuộc một chòm sao nào). Cách đây trên 2000 năm, các nhà thiên văn đã rút ra những kết luận về đặc điểm chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh trên nền trời sao như sau :

1. Mặt Trời và Mặt Trăng từ từ dịch chuyển đối với các sao theo chiều ngược với chiều nhật động (tức là từ Tây sang Đông).

Mặt Trời dịch chuyển trọn một vòng trong khoảng 365 ngày. Mặt Trăng dịch chuyển trọn một vòng trên 27 ngày.

**2.** Các hành tinh nói chung cũng dịch chuyển đối với các sao theo chiều ngược với chiều nhật động, nhưng cũng có những thời kì chúng dịch chuyển theo chiều ngược lại nên quỹ đạo của chúng trên nền trời sao có dạng hình nút (H. 4).




*Hình 4* – Sự dịch chuyển của Thủy Tinh (đường chấm chấm) và Kim Tinh (đường liền nét) giữa các sao từ tháng 1 đến tháng 7 năm 1977.

**3.** Có 2 hành tinh (Thủy Tinh và Kim Tinh) không bao giờ tồn tại trên vòm trời ở quá xa Mặt Trời. Theo thời gian Thủy Tinh "dao động" quanh Mặt Trời với biên độ không quá 28$^o$, còn Kim Tinh thì không quá 48$^o$.

**4.** Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh dịch chuyển đối với các sao theo các quỹ đạo rất gần nhau.

Từ những đặc điểm chuyển động nhìn thấy trên và từ khoảng cách ước lượng đến chúng, người ta đã cho rằng Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh này tạo thành một hệ – hệ Mặt Trời.

Vấn đề đặt ra là hệ Mặt Trời được cấu tạo và chuyển động như thế nào để dẫn đến những đặc điểm về chuyển động nhìn thấy như vậy ?

## §5. MÔ HÌNH ĐỊA TÂM PTÔLÊMÊ

Nhằm giải thích hiện tượng nhật động và đặc điểm chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh vào thế kỉ thứ II nhà khoa học Hi Lạp Ptôlêmê đã bằng trí tưởng tượng xây dựng nên mô hình vũ trụ địa tâm như sau :

– Trái Đất nằm yên ở trung tâm vũ trụ.

– Giới hạn của vũ trụ là một vòm cầu trong suốt trên đó gắn chặt các sao. Toàn bộ vòm cầu này quay đều quanh một trục xuyên qua tâm Trái Đất.

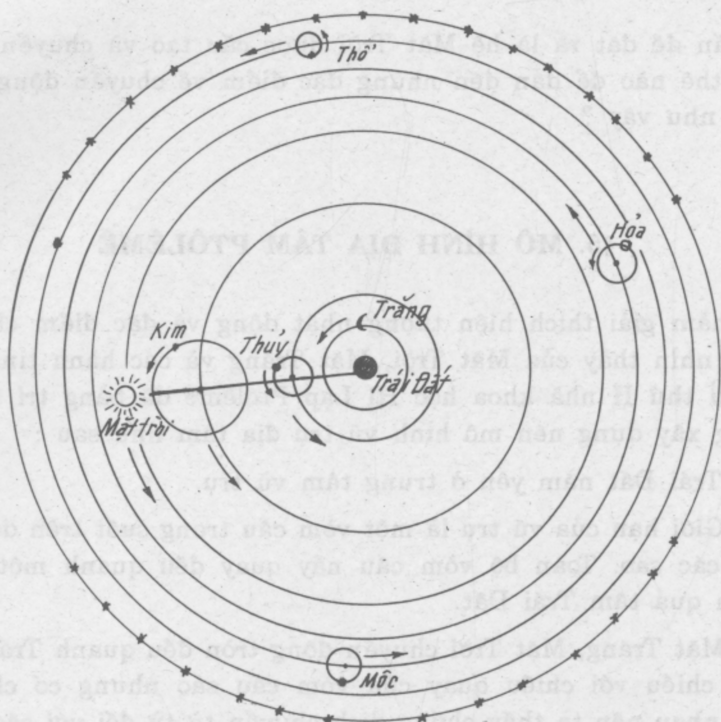
– Mặt Trăng, Mặt Trời chuyển động tròn đều quanh Trái Đất cùng chiều với chiều quay của vòm cầu sao nhưng có chu kì khác nhau nên ta thấy chúng dịch chuyển từ từ đối với các sao.

– Các hành tinh chuyển động đều theo những vòng tròn phụ mà tâm của các vòng này chuyển động tròn đều quanh Trái Đất (giải thích quỹ đạo nhìn thấy có dạng nút của các hành tinh).

– Trái Đất, Mặt Trời và tâm vòng phụ của Kim Tinh và Thủy Tinh luôn luôn nằm trên một đường thẳng (giải thích sự "dao động" của 2 hành tinh này quanh Mặt Trời).

Mô hình vũ trụ địa tâm thỏa mãn cho việc giải thích những đặc điểm về chuyển động nhìn thấy của các thiên thể trên thiên cầu như đã trình bày ở trên.

Về sau, bằng những quan sát thiên văn chính xác hơn, người ta đã phát hiện những đặc điểm chuyển động khác vượt ra ngoài khả năng giải thích của mô hình địa tâm Ptôlêmê. Những người kế tục Ptôlêmê đã phải bổ sung thêm những loại vòng tròn khác nữa. Mô hình địa tâm vốn đã phức tạp lại càng thêm rắc rối.




*Hình 5* – Mô hình vũ trụ địa tâm Ptôlêmê.

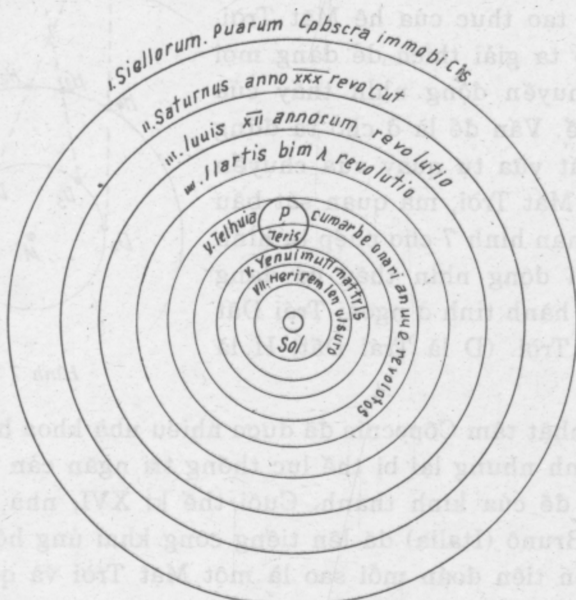
Các tu sĩ đương thời, khi học mô hình địa tâm trong các trường giáo hội cũng đã phải thốt lên rằng : "Tại sao Thượng đế đã sáng tạo ra một mô hình phiền toái đến thế !".

## §6. MÔ HÌNH NHẬT TÂM CÔPECNIC

Mô hình địa tâm được thừa nhận cho mãi đến thế kỉ thứ XVI. Trong thời kì đó thiên văn học đã dậm chân tại chỗ. Nhiều nhà khoa học đã nêu vấn đề xét lại mô hình địa tâm, song uy lực của giáo hội với tiền đề Trái Đất nằm yên đã đè nặng lên luồng suy nghĩ của họ. Người đầu tiên có trí sáng tạo và đủ nghị lực phá vỡ tiền đề ấy là nhà khoa học Ba Lan Nicôlai Côpecnic.

Qua nhiều năm phân tích các số liệu quan trắc về chuyển động của các thiên thể, vào năm 1543 cũng là năm cuối đời của mình, Nicôlai Côpecnic đã cho xuất bản cuốn sách "Về sự quay của Thiên cầu". Ông đã trình bày hệ vũ trụ nhật tâm gồm các nội dung chủ yếu sau :

– Mặt Trời, chứ không phải Trái Đất, ở trung tâm vũ trụ (H. 6).




*Hình 6* – Hệ nhật tâm của Côpecnic.

– Các hành tinh chuyển động đều quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn, cùng chiều và gần như trong một mặt phẳng. Càng ở xa Mặt Trời hành tinh có chu kì chuyển động càng lớn.

– Trái Đất cũng là một hành tinh. Ngoài chuyển động quanh Mặt Trời, Trái Đất còn tự quay quanh một trục xuyên tâm.

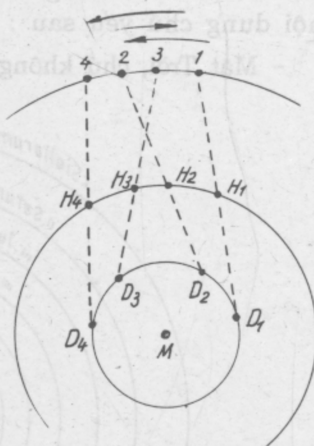
– Mặt Trăng chuyển động tròn quanh Trái Đất (vệ tinh của Trái Đất).

– Thủy Tinh và Kim Tinh có quỹ đạo chuyển động bé hơn quỹ đạo chuyển động của Trái Đất (ở gần Mặt Trời hơn). Các hành tinh còn lại (Hỏa Tinh, Mộc Tinh, Thổ Tinh...) có quỹ đạo

chuyển động lớn hơn quỹ đạo chuyển động của Trái Đất (ở xa Mặt Trời hơn). Như vậy theo Côpecnic thì các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời theo thứ tự từ Mặt Trời ra xa là :

Thủy Tinh, Kim Tinh, Trái Đất, Hỏa Tinh, Mộc Tinh, Thổ Tinh...

Về cơ bản hệ nhật tâm Côpecnic phù hợp với cấu tạo thực của hệ Mặt Trời, nó cho phép ta giải thích dễ dàng mọi đặc điểm chuyển động nhìn thấy của các thiên thể. Vấn đề là ở chỗ ta đứng trên Trái Đất vừa tự quay vừa chuyển động quanh Mặt Trời, mà quan sát bầu trời. Chẳng hạn hình 7 cho phép ta hình dung chuyển động nhìn thấy có dạng nút của một hành tinh ở ngoài Trái Đất đối với Mặt Trời. (D là Trái Đất, H là hành tinh).



*Hình 7*

Mô hình nhật tâm Côpecnic đã được nhiều nhà khoa học đương thời tán thành nhưng lại bị thế lực thống trị ngăn cản vì nó đối lập với tiền đề của kinh thánh. Cuối thế kỉ XVI, nhà triết học chân chính Brunô (Italia) đã lên tiếng công khai ủng hộ hệ nhật tâm. Ông còn tiên đoán mỗi sao là một Mặt Trời và quanh các sao cũng có những hành tinh chuyển động.

Trong vô số các hành tinh ấy nhất định phải có nhiều hành tinh giống Trái Đất của chúng ta và như vậy cuộc sống không chỉ có đơn độc trên Trái Đất mà phổ biến trong vũ trụ vô tận. Brunô đã bị kết tội phản nghịch và đã bị giai cấp thống trị thiêu sống vào năm 1600 tại thành phố Rôma.

Năm 1610, Galilê (Galilé) đã sáng chế kính thiên văn. Bằng chiếc kính đầu tiên này ông đã nhìn rõ dạng cầu của nhiều hành tinh, nhìn rõ nhiều chi tiết trên Mặt Trăng, nhìn được vệ tinh của Mộc Tinh... Đây là những bằng chứng thực nghiệm khẳng định cho sự đúng đắn của học thuyết Côpecnic.

## §7. BA ĐỊNH LUẬT KÊPLE

Kiên trì theo quan điểm của Côpecnic, nhà khoa học nước Đức Kêple dựa trên các số liệu quan trắc Hỏa Tinh trong 20 năm của nhà thiên văn Đan Mạch Tikhô Brahê và các số liệu quan trắc trong nhiều năm của chính mình, đã xây dựng nên ba định luật nổi tiếng sau :

I – Các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip mà Mặt Trời nằm tại một trong hai tiêu điểm của elip quỹ đạo.

II – Bán kính vectơ của mỗi hành tinh quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau.

III – Bình phương chu kì chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời tỉ lệ với lập phương bán trục lớn của quỹ đạo elip.

Cần nhớ rằng elip có đặc tính là tổng khoảng cách từ bất cứ một điểm nào của elip đến hai tiêu điểm của nó có giá trị không đổi và bằng trục lớn của nó.

Trên hình 8, $F_1$ và $F_2$ là hai tiêu điểm,

VC = 2a là trục lớn, O là tâm của elip.

Giả sử Mặt Trời ở tiêu điểm $F_1$. Theo định luật I thì hành tinh chuyển động trên quỹ đạo elip và như vậy khoảng cách từ hành tinh đến Mặt Trời biến thiên. Rõ ràng khi hành tinh ở điểm C thì có khoảng cách đến Mặt Trời bé nhất. Điểm C gọi là cận điểm. Khi hành tinh đến điểm V sẽ có khoảng cách đến Mặt Trời xa nhất. Điểm V gọi là viễn điểm. Khoảng cách từ Mặt Trời đến hành tinh là r và được gọi là bán kính vectơ của hành tinh ($r = F_1H$)

Tại cận điểm $r_c = a(1 - e)$.

Tại viễn điểm $r_v = a(1 + e)$.

Với $$e = \frac{OF_1}{OC} = \frac{a^2 - b^2}{a}$$

e là tâm sai của elip, a là bán trục lớn, còn b là bán trục bé của elip.

*Hình 8*

*Hình 9*

Ba định luật Kêple được biểu diễn dưới dạng toán học như sau :

*Định luật I :*

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi}$$

trong đó : p là thông số của elip, $p = F_1P$ (H. 8)

$\varphi$ là góc cận điểm thực tức là góc hợp bởi bán kính vectơ của hành tinh với bán kính vectơ tại cận điểm.

*Định luật II :*

$$r^2 \frac{d\varphi}{dt} = C \text{ (hằng số)} \qquad (2)$$

Theo định luật II Kêple thì diện tích hình quạt $H_1F_1H_2$ là diện tích mà bán kính vectơ của hành tinh quét được trong khoảng thời gian $\Delta t$ đúng bằng diện tích hình quạt $H_3F_1H_4$ mà bán kính vectơ của hành tinh quét được cũng trong khoảng thời gian ấy (H. 9). Ta thấy cung $H_1H_2$ lớn hơn cung $H_3H_4$. Như vậy ở vùng cận điểm hành tinh có vận tốc chuyển động lớn hơn so với các vùng khác.

*Định luật III :*

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = h \text{ (hằng số)}, \qquad (3)$$

trong đó $T_1$, $T_2$ là chu kì chuyển động, $a_1$, $a_2$ là bán trục lớn quỹ đạo tương ứng của hai hành tinh một và hai. Rõ ràng theo định luật này thì hành tinh ở càng xa Mặt Trời có chu kì chuyển động càng lớn. Thí dụ chu kì của Trái Đất là 365 ngày, chu kì của Hỏa Tinh là 686 ngày.

## §8. ĐỊNH LUẬT VẠN VẬT HẤP DẪN

Ta đã biết các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời và các vệ tinh chuyển động quanh hành tinh. Vấn đề đặt ra là lực gì đã đóng vai trò lực hướng tâm trong các chuyển động ấy, Kêple đã ví Mặt Trời như một nam châm khổng lồ.

Nhà bác học nước Anh Niutơn đã phát hiện cái gọi là lực hướng tâm ấy. Ông đã giả thiết lực tạo cho các hành tinh và các vệ tinh chuyển động tròn có bản chất giống như trọng lực trên mặt đất. Để khẳng định, ông vận dụng vào chuyển động của Mặt Trăng. Nếu lực giữ cho Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất là trọng lực thì gia tốc hướng tâm của Mặt Trăng phải chính là gia tốc hấp dẫn của Trái Đất lên Mặt Trăng. Tại mặt đất gia tốc trọng trường là $g = 9{,}8\ m/s^2$. Biết Mặt Trăng ở cách Trái Đất một khoảng bằng 60 lần bán kính Trái Đất, nên tại Mặt Trăng thì gia tốc trọng trường g phải bé hơn $60^2$ lần (với giả thiết gia tốc trọng trường g tại mỗi điểm tỉ lệ ngược với bình phương khoảng cách từ điểm đó đến tâm Trái Đất).

$$g' = \frac{g}{60^2} = \frac{9{,}81}{3600} = 0{,}0027\ m/s^2.$$

Mặt khác gia tốc hướng tâm g' của Mặt Trăng cũng được tính trực tiếp theo công thức cơ học

$$g' = \omega^2 R = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R\ ,$$

trong đó T là chu kì chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất (T = 27,3 ngày), R là bán kính quỹ đạo của Mặt Trăng (R = 60 bán kính của Trái Đất = 60.6370km).

Thay các trị số của T và R vào biểu thức trên ta được :

$$g' = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R = 0{,}0027\ m/s^2.$$

Kết quả như nhau về trị số của g' tính theo hai cách trên chứng tỏ lực buộc Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất chính là trọng lực. Dễ dàng suy luận thêm rằng lực buộc các hành tinh

chuyển động quanh Mặt Trời cũng có bản chất như trọng lực. Từ đó Niutơn đã khái quát và phát hiện một định luật chung của tự nhiên : định luật vạn vật hấp dẫn (các vật trong vũ trụ đều hấp dẫn nhau. Lực hấp dẫn giữa hai vật tỉ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỉ lệ ngược với bình phương khoảng cách giữa chúng).

## §9. BIỂU THỨC TOÁN HỌC CỦA ĐỊNH LUẬT VẠN VẬT HẤP DẪN

Dưới tác dụng của lực hấp dẫn các hành tinh chuyển động theo các định luật Kêple. Ngược lại, từ các định luật Kêple ta rút ra được biểu thức của lực hấp dẫn. Thật vậy, từ định luật 1 và 2

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi} \qquad (1-1)$$

$$\frac{r^2 d\varphi}{dt} = C \qquad (1-2)$$

và vận dụng thêm phương trình động lực học :

$$d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = Fdr . \qquad (1-3)$$

trong đó m là khối lượng, v là vận tốc của hành tinh và F là lực hấp dẫn của Mặt Trời tác dụng lên hành tinh.

Trong hệ tọa độ cực thì biểu thức của vận tốc v có dạng :

$$v^2 = \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

và từ đó (1-3) sẽ có dạng :

$$\frac{m}{2} d\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right] = Fdr \qquad (1-4)$$

hay : $$\frac{m}{2}\frac{d}{d\varphi}\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right] = F\frac{dr}{d\varphi} \qquad (1-4a)$$

Từ (1–2) ta có :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{C}{r^2} \qquad (1\text{–}2a)$$

và chú ý thêm :

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\varphi}\frac{d\varphi}{dt} = \frac{dr}{d\varphi}\frac{C}{r^2} = -C\frac{d}{d\varphi}\left(\frac{1}{r}\right) \qquad (1\text{–}5)$$

thì (1–4a) sẽ có dạng :

$$\frac{m\,.\,C^2}{2}\frac{d}{d\varphi}\left\{\left[-\frac{d}{d\varphi}\left(\frac{1}{r}\right)\right]^2 + \frac{1}{r^2}\right\} = F\frac{dr}{d\varphi}$$

$$-\frac{mC^2}{r^2}\left\{\frac{d^2}{d\varphi^2}\left(\frac{1}{r}\right) + \frac{1}{r}\right\} = F. \qquad (1\text{–}4b)$$

Từ (1–1) ta có :

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{e}{p}\cos\varphi \qquad (1\text{–}1a)$$

Lấy vi phân hai lần (1–1a) ta được :

$$\frac{d^2}{d\varphi^2}\left(\frac{1}{r}\right) = -\frac{e}{p}\cos\varphi \qquad (1\text{–}1b)$$

Đến đây kết hợp (1–1b) với (1–4b) thì F có dạng :

$$F = -\frac{mC^2}{pr^2} = -K\frac{m}{r^2}, \qquad (1\text{–}6)$$

với $K = \frac{C^2}{p}$ = hằng số.

Hằng số K có giá trị chung cho các hành tinh. Quả vậy từ diện tích elip là $\pi ab$, hằng số C bằng 2 lần tốc độ diện tích và bằng $\frac{2\pi ab}{T}$, thông số $p = \frac{b^2}{a}$ ta rút ra

$$K = \frac{C^2}{p} = 4\pi^2\frac{a^3}{T^2} = 4\pi^2 h = \text{hằng số.}$$

Rõ ràng hằng số K không phụ thuộc vào bán trục lớn a và chu kì T của mỗi hành tinh mà chỉ phụ thuộc vào tỉ số giữa lập phương bán trục lớn và bình phương chu kì, một tỉ số có giá trị chung cho mọi hành tinh (theo định luật 3).

Bây giờ ta hãy làm sáng tỏ thêm ý nghĩa của hằng số K. Theo định luật 3 Niutơn thì lực Mặt Trời tác dụng lên hành tinh (F) phải bằng và ngược chiều với lực hành tinh tác dụng lên Mặt Trời (F'). Rõ ràng lực F' có dạng :

$$F' = -K'\frac{M}{r^2}$$

trong đó M là khối lượng của Mặt Trời.

Như vậy từ F = −F'

Ta có : $\frac{Km}{r^2} = \frac{K'M}{r^2}$

hay $\frac{K}{M} = \frac{K'}{m} = G =$ hằng số,

do đó : $K = GM$. (1−7)

Từ (1−6) và (1−7) ta đi đến biểu thức hoàn chỉnh của lực hấp dẫn giữa Mặt Trời (có khối lượng M) và hành tinh (có khối lượng m) là :

$$F = -G\frac{Mm}{r^2} \qquad (1-8)$$

trong đó hằng số G được gọi là hằng số hấp dẫn.

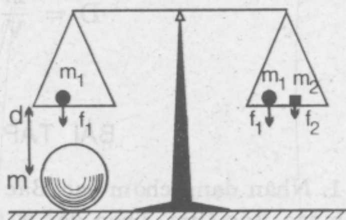
Rõ ràng lực hấp dẫn giữa hai vật tỉ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

Trong hệ SI hằng số hấp dẫn $G = 6{,}67.10^{-11}\ \frac{Nm^2}{kg^2}$

## §10. XÁC ĐỊNH KHỐI LƯỢNG CỦA TRÁI ĐẤT

Sau khi xây dựng định luật vạn vật hấp dẫn, người ta có khả năng xác định được khối lượng của Trái Đất. Đã có nhiều phương pháp xác định khác nhau và sau đây là một trong các phương pháp ấy :

Trên 2 đĩa của một cân chính xác, người ta đặt hai quả cầu có khối lượng bằng nhau ($m_1$) và cán cân nằm thăng bằng (H.10)



*Hình 10*

Người ta đặt dưới một đĩa cân (đĩa bên trái) một quả cầu nặng có khối lượng m. Do lực hấp dẫn của m lên quả cầu $m_1$ (bên đĩa trái) mà cân lệch xuống. Để lấy lại thăng bằng người ta phải bỏ thêm một quả cân lên đĩa bên phải, giả dụ quả cân này có khối lượng $m_2$. Lúc này lực hấp dẫn tác dụng lên các quả cân ở đĩa phải và đĩa trái sẽ phải bằng nhau :

$$F_{phải} = F_{trái}$$

$$\frac{GMm_1}{R^2} + \frac{GMm_2}{R^2} = \frac{GMm_1}{R^2} + \frac{Gm_1m}{d^2} \qquad (1-9)$$

trong đó M là khối lượng của Trái Đất, R là bán kính của Trái Đất, d là khoảng cách từ tâm quả cầu m đến quả cân $m_1$ bên đĩa trái.

Từ (1-9) ta có : $$\frac{GMm_2}{R^2} = \frac{Gm_1m}{d^2}$$

hay : $$M = \frac{m_1mR^2}{m_2d^2} \qquad (1-10)$$

Trong 1 lần thí nghiệm người ta đã sử dụng :

$m_1 = 5kg$ $\qquad$ $d = 0,57m$

$m = 6000kg$ $\qquad$ $m_2 = 0,6mg = 6.10^{-4}kg$

Thay các trị số của các đại lượng trên vào (1-10) ta thu được khối lượng của Trái Đất M :

$$M = 5,98.10^{24}kg \approx 6.10^{24}kg$$

Đến đây ta cũng có thể tính được khối lượng riêng trung bình của Trái Đất :

$$D = \frac{M}{V} = 5,5\ kg/dm^3.$$

## BÀI TẬP CHƯƠNG MỘT

1. Nhận dạng chòm sao Bắc Đẩu lớn hoặc Thiên Hậu rồi từ đó xác định sao Bắc Cực. Theo dõi vị trí sao Bắc Cực và các sao chung quanh (từ chập tối đến 11 giờ đêm, mỗi lần quan sát cách nhau khoảng 1 giờ) để rút ra đặc điểm chuyển động của các sao này.

2. Vẽ quỹ đạo của một hành tinh trên nền trời đối với các sao lân cận và rút ra kết luận (vẽ khoảng 10 vị trí, mỗi tuần vẽ 1 lần, rồi nối các vị trí ấy).

3. Dùng bản đồ sao quay để làm quen các chòm sao trên bầu trời. Rút ra kết luận về tác dụng của bản đồ này.

4. Giải thích các đặc điểm chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh dựa trên cơ sở hệ nhật tâm.

5. Giải thích hiện tượng sao Hôm và sao Mai (là hai trường hợp nhìn thấy của Kim Tinh).

6. Dựa vào đặc điểm chuyển động nhìn thấy của Thủy Tinh và Kim Tinh, tính khoảng cách từ chúng tới Mặt Trời và chu kì chuyển động của chúng. Cho biết khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời bằng 1 đơn vị thiên Văn* và chu kì chuyển động quanh Mặt Trời bằng 1 năm. Coi các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn.

---

* Đơn vị thiên văn là đơn vị độ dài bằng khoảng cách trung bình từ Mặt Trời đến Trái Đất.

# Chương II

# TRÁI ĐẤT

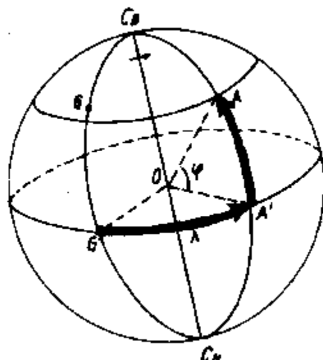
Theo thuyết hấp dẫn thì các vật có khối lượng lớn tự quay quanh mình phải có dạng rất gần với dạng cầu. Quả vậy các thiên thể có khối lượng lớn như Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh đều có dạng cầu. Dạng cầu của Trái Đất được thấy rõ qua các ảnh chụp từ các trạm vũ trụ (H.11).



*Hình 11* – Hình Trái Đất chụp từ Mặt Trăng

## §11. HỆ TỌA ĐỘ ĐỊA LÍ

Trái Đất có dạng cầu tự quay quanh một trục đi qua khối tâm O của nó. Trục quay tưởng tượng này cắt mặt đất tại hai điểm được gọi là địa cực Bắc ($C_B$) và địa cực Nam ($C_N$) (H.12)




*Hình 12* – Hệ tọa độ địa lí.

Đứng ở nửa địa cầu Bắc quan sát bầu trời sao ta thấy bầu trời nhật động ngược chiều kim đồng hồ. Mặt phẳng qua tâm O và thẳng góc với trục quay cắt mặt đất theo một đường tròn được gọi là *xích đạo*. Xích đạo chia Trái Đất ra hai nửa Bắc và Nam.

Các vòng tròn nhỏ song song với xích đạo được gọi là các *vĩ tuyến*. Các vòng tròn đi qua hai địa cực được gọi là các vòng ***kinh tuyến***. Nửa vòng kinh tuyến qua đài Thiên văn Grinuych* ($C_BGG'C_N$) được quy ước là ***kinh tuyến gốc*** hay kinh tuyến số không.

Vòng kinh tuyến gốc chia Trái Đất ra hai nửa Đông và Tây. Mỗi điểm ở trên mặt đất được xác định bởi 2 tọa độ : *vĩ độ* $\varphi$ và ***kinh độ*** $\lambda$. Vĩ độ của một nơi có trị số bằng góc tạo thành bởi mặt phẳng xích đạo và đường dây dọi qua nơi đó.

*Ví dụ :* Vĩ độ của nơi A là :

$$\varphi_A = \widehat{AOA'}$$

Vĩ độ được tính từ xích đạo đến hai cực và có giá trị từ 0 đến $\pm$ 90$^o$ (dấu + ứng với bán cầu Bắc, dấu – ứng với bán cầu Nam).

---

* Đài thiên văn Grinuych (Greenwich) ở ngoại ô Luân Đôn.

Kinh độ của một nơi có trị số bằng góc nhị diện tạo bởi 2 mặt phẳng chứa kinh tuyến gốc và kinh tuyến qua nơi đó. Chẳng hạn kinh độ $\lambda_A$ của nơi A có trị số :

$$\lambda_A = \widehat{G'OA'} = \text{cung } G'A'$$

Kinh độ được tính từ kinh tuyến gốc theo chiều tự quay của Trái Đất và có giá trị từ 0 đến 360°. Nhiều trường hợp người ta quy ước kinh độ có giá trị từ 0 đến ±180° (dấu + ứng với các nơi ở về phía đông kinh tuyến gốc, tức là ở về nửa Đông của Trái Đất).

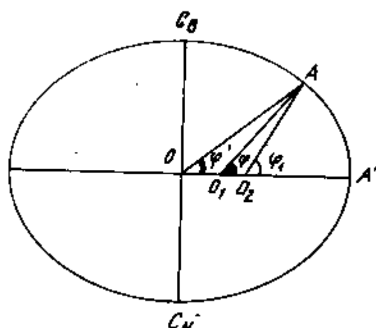
*Ví dụ :* Hà Nội có $\varphi = +21°$ và $\lambda = 105°52'$
LaHabana có $\varphi = +23°$ và $\lambda = 82°$T hay (-82°).

Thực tế Trái Đất có dạng không hoàn toàn đúng là một khối cầu mà hơi dẹt ở hai cực (hình phỏng cầu).

Với độ chính xác tương đối, ta có thể coi Trái Đất có dạng cầu bán kính trung bình R = 6370km. Với quy ước này thì đường dây dọi đi qua tâm O và các vòng kinh tuyến là những vòng tròn. Trong trường hợp này, vĩ độ tại một nơi có trị số bằng độ lớn của cung kinh tuyến tính từ xích đạo đến nơi đó.

$$\varphi_A = \widehat{A'A} = \widehat{AOA'}$$

Trong trường hợp đòi hỏi độ chính xác cao thì ta cần chú ý đến phương của dây dọi. Nói chung phương của dây dọi không đi qua tâm O của hình phỏng cầu mà đi qua điểm $O_1$ (H.13).



Hình 13

Mặt khác vì sự phân bố mật độ của Trái Đất không đều và do Trái Đất quay nên đường dây dọi $AO_1$ cũng không trùng với đường thẳng góc với mặt phẳng tiếp tuyến của hình phỏng cầu tại nơi khảo sát $AO_2$. Từ đó tại mỗi nơi nhất định ở trên mặt đất, trong khoa học người ta đã phân biệt 3 loại vĩ độ.

– Vĩ độ thiên văn $\varphi$ là góc $AO_1A'$ giữa mặt phẳng xích đạo và đường dây dọi tại điểm khảo sát.

– Vĩ độ địa tâm $\varphi'$ là góc AOA' giữa mặt phẳng xích đạo và bán kính vectơ của điểm khảo sát.

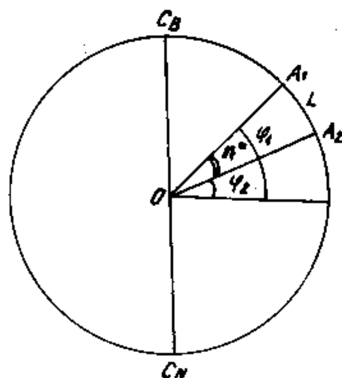
– Vĩ độ trắc địa là góc $AO_2A'$ giữa mặt phẳng xích đạo và đường thẳng góc với hình phỏng cầu tại điểm khảo sát.

Bằng quan sát thiên văn người ta xác định được vĩ độ thiên văn $\varphi$. Bằng phương pháp trắc địa và trọng lực người ta xác định được độ lệch của dây dọi với đường thẳng góc và từ đó xác định được vĩ độ trắc địa. Còn vĩ độ địa tâm $\varphi'$ lại được tính theo các công thức hình giải tích.

## §12. XÁC ĐỊNH BÁN KÍNH TRÁI ĐẤT. TAM GIÁC ĐẠC

Khi biết Trái Đất có dạng cầu thì người ta đã nghĩ đến cách xác định bán kính của nó. Lấy hai điểm $A_1$ và $A_2$ nằm trên cùng một kinh tuyến (H. 14). Nếu đo được độ dài L của $A_1A_2$ và độ lớn $n^o$ của góc $A_1OA_2$ thì bán kính Trái Đất R sẽ là :

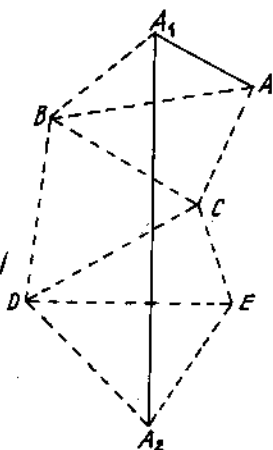
$$R = \frac{180^o L}{\pi n^o}$$



*Hình 14*

Góc $A_1OA_2 = n^o = \varphi_1 - \varphi_2$ (hiệu độ vĩ tại 2 nơi $A_1$ và $A_2$) được xác định bằng phương pháp thiên văn. Vấn đề phức tạp là xác định độ dài giữa 2 điểm $A_1$ và $A_2$. Quả vậy, việc đo khoảng cách trên mặt đất dài đến hàng trăm km sẽ gặp rất nhiều trở ngại vì núi sông ngăn trở. Người ta đã phải dùng phương pháp đặc biệt được

gọi là tam giác đạc : nguyên tắc cơ bản là đo một đoạn không lớn lắm làm đoạn đáy và đo các góc rồi tính toán (H. 15).



*Hình 15*

Chẳng hạn muốn đo khoảng cách giữa hai điểm $A_1$ và $A_2$ thì người ta chọn một số điểm trung gian nằm hai bên đường $A_1A_2$ cách nhau khoảng vài ba chục km (A, B, C, D, E). Các điểm được chọn sao cho từ điểm này thấy được ít nhất hai điểm khác ở gần đó.

Tại mỗi điểm người ta dựng một mốc trắc địa (chóp hình tháp cao hàng chục mét). Đoạn đáy $A_1A$ phải chọn ở nơi bằng phẳng để có khả năng đo được chính xác. Người ta có thể đo đoạn đáy dài 10km không sai quá 2mm. Sau đó người ta dùng kính đo góc đặt tại đỉnh các mốc trắc địa để lần lượt đo các góc $A_1AB$, ABC, BCD, CDE, $DEA_2$. Biết độ dài của đoạn đáy $A_1A$ và các góc này ta sẽ tính được độ dài của các đoạn thẳng khác, tức biết độ dài của đường gấp khúc từ $A_1$ đến $A_2$ (đường $A_1BDA_2$). Tiếp đó ta tính được độ dài $A_1A_2$ bằng cách chiếu đường gấp khúc xuống $A_1A_2$. Cần chú ý rằng khi tính người ta phải dùng công thức của lượng giác cầu (xem §48) vì mặt đất là một mặt cầu.

Phương pháp tam giác đạc đã được tiến hành lần đầu tiên ở Hà Lan vào năm 1615.

## §13. DẠNG THỰC CỦA TRÁI ĐẤT

Các phép đo chính xác cho thấy độ dài của $1^o$ cung kinh tuyến ở những đoạn có độ vĩ khác nhau không bằng nhau. Ở vùng xích đạo nó dài 110,6km, ở vùng địa cực dài 111,7km. Điều đó chứng

tỏ rằng độ cong của mặt đất ở vùng xích đạo lớn hơn ở vùng cực. Như vậy Trái Đất hơi dẹt ở hai cực (có dạng elipxôit tròn xoay hay hình phỏng cầu).

Dựa trên kết quả đo đạc nhiều lần, vào năm 1964 hội Thiên văn quốc tế đã ghi nhận các giá trị sau :

a = 6378,16km (bán kính ở xích đạo)

b = 6356,78km (bán kính ở địa cực)

$$\text{độ dẹt } \varepsilon = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,25}$$

## §14. SỰ BIẾN THIÊN CỦA GIA TỐC TRỌNG TRƯỜNG TRÊN MẶT ĐẤT

Ta đã biết gia tốc trọng trường tại mỗi điểm trên mặt đất được xác định theo công thức $g = \frac{GM}{R^2}$ (tức là tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách đến tâm Trái Đất). Vì Trái Đất dẹt ở cực nên gia tốc trọng trường tại các nơi trên mặt đất phải có trị số khác nhau. Nếu xét từ xích đạo đến địa cực (R giảm) thì gia tốc trọng trường $= GM/R^2$ phải tăng dần. Các kết quả đo đạc cho ta bảng sau :

| Vĩ độ | $0^o$ | $20^o$ | $40^o$ | $60^o$ | $80^o$ | $90^o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| g ($cm/s^2$) | 978,0 | 978,7 | 980,2 | 981,9 | 983,1 | 983,2 |

Phân tích các số liệu trong bảng trên ta thấy gia tốc trọng trường đo được tăng nhanh hơn so với kết quả tính theo công thức $g = GM/R^2$. Sai khác này chứng tỏ gia tốc trọng trường còn phụ thuộc vào sự quay của Trái Đất. Quả vậy nếu như Trái

Đất không quay thì gia tốc trọng trường g tại một điểm nào đó, chẳng hạn như điểm A (H. 16) có độ vĩ $\varphi$ sẽ là :

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Do Trái Đất tự quay với vận tốc góc $\omega$ nên tại A có gia tốc quán tính li tâm

$$a = \omega^2 R\cos\varphi$$

*Hình 16*

*và gia tốc trọng trường* $g_\varphi$ đo được tại A là :

$$g_\varphi = g - a_1 = g - a\cos\varphi = g - \omega^2 R\cos^2\varphi \qquad (2.1)$$

Rõ ràng càng tiến về địa cực ($\varphi$ càng lớn) thì $g_\varphi$ càng tăng.

Đến đây ta đã có đủ cơ sở để tính gia tốc trọng trường trung bình tại từng nơi trên mặt đất. Song kết quả đo đạc tại một số nơi nhất định có thể sai lệch với tính toán nếu như tại các nơi đó vỏ Trái Đất có thêm phần cấu tạo không bình thường (khối lượng riêng không bình thường). Ta cũng dễ hiểu rằng nếu gia tốc đo được lớn hơn tính toán thì nơi đó ắt có mỏ kim loại nằm dưới đất và ngược lại thì sẽ có những chất nhẹ như dầu, khí... Như vậy bằng cách đo gia tốc trọng trường người ta có thể phát hiện được các mỏ nằm sâu dưới đất. Đây là một phương pháp thăm dò khoáng sản tương đối đơn giản và có hiệu quả.

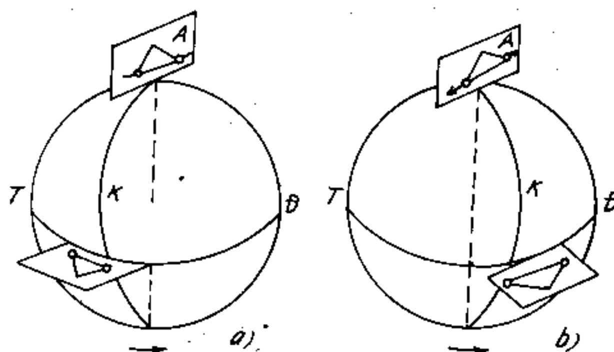
## §15. CHỨNG MINH TRÁI ĐẤT TỰ QUAY

Từ những đặc điểm chuyển động nhìn thấy của các thiên thể ta đã kết luận Trái Đất tự quay quanh một trục. Để khẳng định điều đó, ta hãy xét những hiện tượng sau đây :

### 1. Con lắc Phucô

Năm 1851 nhà vật lí Pháp Phucô đã tiến hành một thí nghiệm nhằm phát hiện sự quay của Trái Đất. Thí nghiệm của ông đã

dựa trên tính chất của con lắc tự do có phương dao động không đổi (vì chỉ có trọng lực duy nhất tác dụng lên nó)

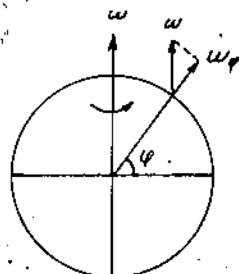


*Hình 17*

Giả sử con lắc được treo tại địa cực Bắc và ở một thời điểm nào đó dao động trong một mặt phẳng kinh tuyến K (H. 17a)

Nếu tiếp tục theo dõi thì ta sẽ thấy mặt phẳng dao động của con lắc từ từ quay so với mặt phẳng kinh tuyến K theo chiều từ Đông sang Tây (cùng chiều kim đồng hồ) và quay đúng một vòng (trở lại trùng với mặt phẳng kinh tuyến K) sau một ngày đêm. Vì mặt phẳng dao động của con lắc tự do này không thể quay, nên ta kết luận Trái Đất tự quay quanh mình nó (H.17b) theo chiều từ Tây sang Đông với chu kì một ngày đêm (với vận tốc góc $\omega = 2\pi/T = 15^o/h$.

Nếu con lắc được treo ở nơi có độ vĩ $\varphi$, thì dao động của nó diễn ra trong mặt phẳng thẳng đứng tại nơi đó. Do Trái Đất quay mà người quan sát thấy mặt phẳng dao động của con lắc quay quanh đường thẳng đứng đó. Vận tốc góc quay này ($\omega_\varphi$) bằng hình chiếu của vectơ vận tốc góc quay $\omega$ của Trái Đất lên đường thẳng đứng tại nơi khảo sát (H. 18)



*Hình 18*

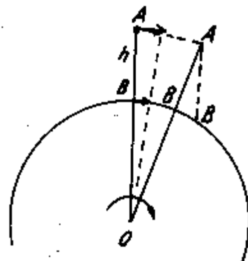
$$\omega_\varphi = \omega\sin\varphi = 15^o\sin\varphi$$

Như vậy vận tốc góc quay của mặt phẳng dao động của con lắc so với mặt đất tỉ lệ với sin của độ vĩ nơi treo nó. Càng tiến về xích đạo thì vận tốc góc quay càng nhỏ tức chu kì quay của con lắc càng lớn.

Phucô đã tiến hành thí nghiệm ở Paris với con lắc dài 67 mét và quả nặng 28kg và thấy mặt phẳng dao động của con lắc từ từ quay với vận tốc góc thỏa mãn $\omega = 15^o \sin\varphi$. Rõ ràng ở xích đạo ($\varphi = 0$) thì $\omega = 0$ tức là mặt phẳng dao động của con lắc nằm yên so với mặt đất.

**2. Sự lệch về phương Đông của các vật rơi tự do**

Một vật ở càng cao trên mặt đất (tức cách tâm O của Trái Đất càng lớn) thì có vận tốc dài càng lớn (vận tốc kéo theo từ Tây sang Đông do Trái Đất tự quay mà ra). Vật A đặt ở độ cao h (H. 19) có vận tốc dài lớn hơn vận tốc điểm chiếu B của nó. Khi ta buông vật A thì theo nguyên lí độc lập chuyển động nó vẫn giữ nguyên vận tốc quay và như vậy khi rơi đến mặt đất thì nó lệch về phương Đông so với điểm chiếu. Các phép đo độ lệch này đều cho trị số thỏa mãn độ lệch x tính theo công thức :



*Hình 19*

$$x = \frac{2\pi h}{3T}\sqrt{\frac{2h}{g}}\cos\varphi,$$

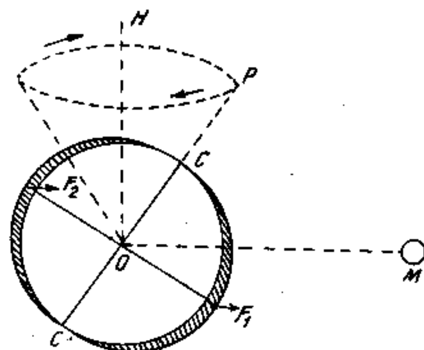
Hiện tượng lệch về phương Đông của các vật rơi tự do và đặc biệt thí nghiệm con lắc Phucô đã chứng tỏ sự tự quay của Trái Đất. Ngoài ra ta còn có thể kể nhiều hiện tượng khác nữa, chẳng hạn như sự lệch mục tiêu của các đường đạn bắn theo hướng về phương Bắc hoặc phương Nam, các đợt gió mùa Đông – Bắc và Đông – Nam ở vùng nhiệt đới, hiện tượng xói mòn của các bờ sông bên phải (ở Bắc bán cầu) và bên trái (ở Nam bán cầu), hiện tượng dịch vạch trong quang phổ Mặt Trời ứng với hai hướng quan trắc khác nhau khi Mặt Trời mọc và lặn (hiệu ứng Đôple)...

Ngày nay hiện tượng quay của Trái Đất có thể dễ dàng quan sát trực tiếp từ các con tàu vũ trụ.

# §16. TIẾN ĐỘNG VÀ CHƯƠNG ĐỘNG CỦA TRỤC QUAY TRÁI ĐẤT

Nếu như Trái Đất có dạng thực đúng một khối cầu và có mật độ vật chất phân bố đều thì phương trục quay cũng như chu kì quay của nó sẽ không đổi.

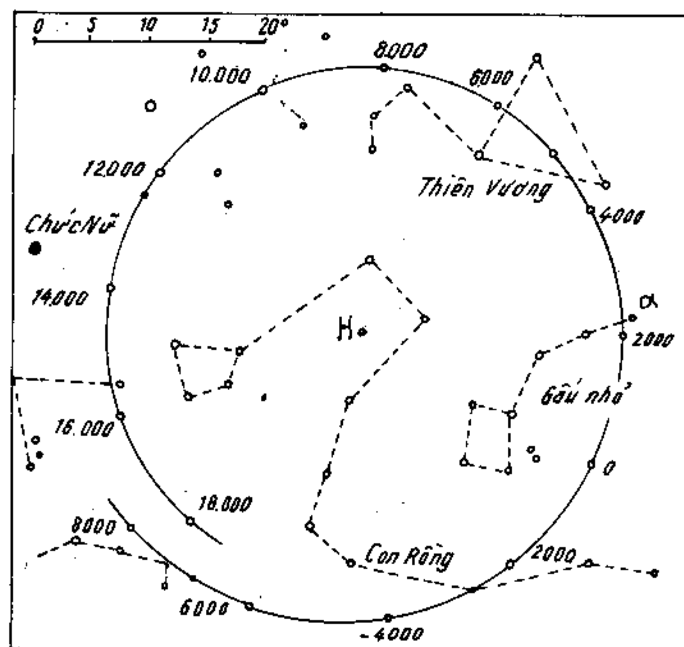
Nhưng thực ra Trái Đất có dạng hình phỏng cầu nên lực hấp dẫn của một thiên thể nào đó, chẳng hạn như của Mặt Trời (H. 20) tác dụng lên nó không thể coi như tác dụng lên một chất điểm. Lực tác dụng này có thể coi như tổng hợp của 3 lực : lực F tác dụng lên khối cầu được tách ra tưởng tượng ở phần trong khối phỏng cầu và đặt tại tâm O, lực $F_1$ tác dụng lên phần nhô của nửa vành xích đạo nằm gần Mặt Trời và lực $F_2$ tác dụng lên phần nhô kia. Vì lực $F_1$ lớn hơn $F_2$ nên kết quả là lực tác dụng của Mặt Trời tạo ra một ngẫu lực có xu hướng làm quay mặt phẳng xích đạo về phương của đường OM (đường nối tâm Mặt Trời và Trái Đất) tức là về phương trùng với mặt phẳng quỹ đạo chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời, hay nói cách khác có xu hướng kéo trục quay của Trái Đất về phương thẳng góc với mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất (mặt phẳng hoàng đạo). Song hiện tượng trên không thể xẩy ra vì Trái Đất quay quanh mình nó. Trong trường hợp cụ thể này, tương tự như hiện tượng con quay cơ học, trục Trái Đất CC' đảo quanh pháp tuyến OH của mặt phẳng Hoàng đạo và từ từ quét thành một hình nón với góc ở đỉnh bằng 2 lần góc COH (bằng 46°54') với chu kì xác định, OH cắt thiên cầu tại điểm H và điểm này được gọi là *Hoàng cực*. Hiện tượng quay vòng của trục Trái Đất được gọi là *tiến động*. Như vậy, do tiến động mà thiên cực Bắc (giao điểm của trục Trái Đất và Bắc



Hình 20

thiên cầu) dịch chuyển theo quỹ đạo tròn trên nền trời quanh Hoàng cực với bán kính góc 23°27' và với chu kì khoảng 26000 năm.

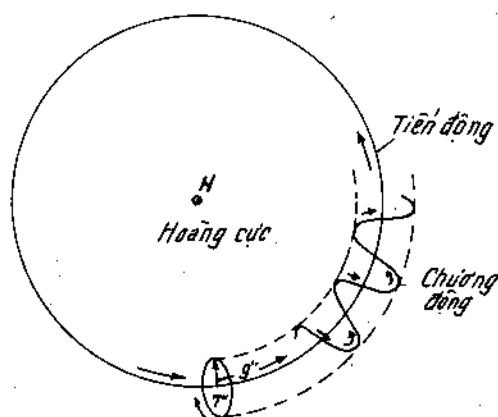
Hiện nay thiên cực Bắc nằm gần sao Bắc Cực (sao $\alpha$ của chòm Gấu nhỏ – chòm Bắc Đẩu nhỏ). Sau 13000 năm thì sao Chức Nữ (sao $\alpha$ của chòm Thiên Cầm) sẽ được gọi là sao Bắc Cực (H. 21).




*Hình 21*

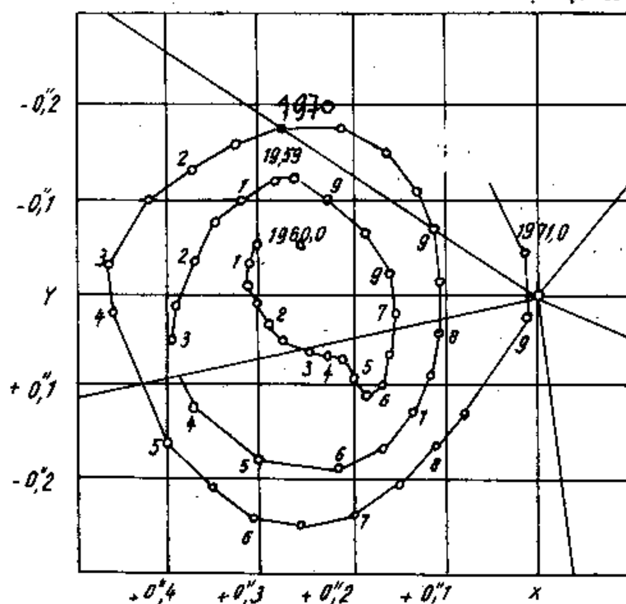
Chú ý rằng Mặt Trăng cũng gây hiện tượng tiến động của trục quay Trái Đất nhưng ở mức độ yếu hơn. Ngoài hiện tượng tiến động, trục quay Trái Đất còn có một chuyển động nhiễu loạn bé được gọi là *chương động*. Vì có chương động nên cực vũ trụ dịch chuyển quanh cực trung bình theo một elip với bán trục lớn là 9''21, bán trục nhỏ là 6''86. Do tiến động và chương động cực vũ trụ dịch chuyển trên nền trời sao theo một đường uốn khúc gần với dạng hình sin (H.22).

## §17. SỰ DI CHUYỂN CỦA CỰC TRÁI ĐẤT TRÊN MẶT CỦA NÓ




*Hình 22*

Sau nhiều lần đo vĩ độ địa lí ở nhiều nơi người ta đã đi đến kết luận rằng vĩ độ địa lí của mỗi nơi xác định không phải là hằng số mà biến thiên một cách tuần hoàn với biên độ ± 0''3. Điều đáng chú ý là khi ở một nơi có vĩ độ tăng lên thì ở nơi khác trên kinh tuyến đối tâm (kinh độ khác nhau 180°) lại giảm đi cùng một lượng. Có sự dao động này của vĩ độ địa lí là do bản



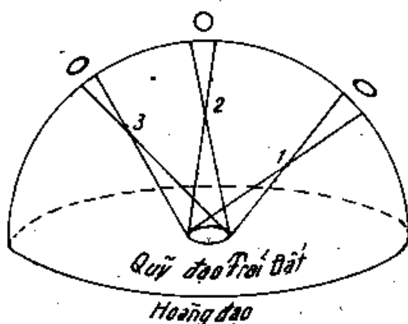

*Hình 23*

thân Trái Đất không tuyệt đối rắn, nên khi coi trục quay của Trái Đất giữ nguyên phương trong không gian (nếu không xét đến hiện tượng tiến động và chương động) thì kết quả có thể coi như địa cực di chuyển trên mặt đất. Theo các số liệu quan trắc trên cùng một loại kính thiên văn của các trạm độ vĩ quốc tế ở cùng một vĩ tuyến $\varphi = 39^{o}03'$ từ trước đến nay cho thấy : Địa cực di chuyển trên mặt đất theo một đường cong rất phức tạp trong phạm vi một hình vuông có cạnh không quá 30m. Hình 23 biểu diễn quỹ đạo dịch chuyển của địa cực Bắc từ năm 1968 đến năm 1971. Hiện nay có gần 40 đài Thiên văn ở khắp các lục địa theo dõi sự di chuyển của cực Trái Đất.

Theo sự phân tích của nhiều nhà khoa học thì đường cong dịch chuyển của địa cực có thể là tổng hợp của hai sự dịch chuyển có chu kì khác nhau : 12 tháng và 14 tháng. Rõ ràng sự dịch chuyển có chu kì 12 tháng có liên quan đến sự biến đổi mùa trên Trái Đất (sự thay đổi về phân bố băng tuyết, các lượng nước, các khối khí). Sự dịch chuyển theo chu kì 14 tháng (theo lập luận của Ơle) có thể là do Trái Đất không tuyệt đối rắn.

## §18. CHỨNG MINH TRÁI ĐẤT CHUYỂN ĐỘNG QUANH MẶT TRỜI

Ta đã biết Trái Đất trong khi tự quay còn chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo gần như tròn. Mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất cắt thiên cầu theo một đường tròn gọi là *Hoàng đạo*. Đứng trên Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời, nếu quan sát các sao ở gần thì phương nhìn các sao ấy sẽ thay đổi rõ rệt, cụ thể là mỗi sao di chuyển trên thiên cầu trong một năm theo một quỹ đạo elip nào đó. Elip này được gọi là elip thị sai hay *thị sai hàng năm*. Bán kính lớn của elip thị sai càng nhỏ nếu sao càng xa Trái Đất (từ đó người ta có thể xác định khoảng cách đến các sao qua kích thước của elip thị sai của chúng). Ngoài ra ta cũng dễ dàng hình dung các sao nằm ở trên mặt




*Hình 24*

phẳng hoàng đạo có elip thị sai là một cung, còn nằm ở phương hướng đến hoàng cực thì elip thị sai là một vòng tròn (H.24).

Rõ ràng thị sai hàng năm của các sao chứng tỏ Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời.

Hiện tượng thứ hai chứng tỏ Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời là tinh sai.

Giả sử điểm K là tâm chữ thập của kính mắt (nơi đặt mắt quan sát) và O là tâm kính vật của một kính thiên văn. Người quan sát cùng với kính di chuyển trong không gian theo phương KA với vận tốc v, (v là vận tốc chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời). Tia sáng từ sao S truyền với vận tốc c đến kính vật tại điểm O. Từ O đến K tia sáng phải truyền thêm một khoảng thời gian t (OK = ct). Như vậy tia sáng (ảnh của sao) không thể truyền tới đúng điểm K vì trong khoảng thời gian t này người quan sát và kính đã di chuyển đến $K_1$ với $KK_1$ = vt. Để thu được ảnh của sao nằm đúng tâm chữ thập của kính mắt thì ta phải hướng ống kính không theo phương KO mà phải theo phương $K_oO$ ($K_oK = KK_1$). Như vậy phương $K_oS'$ hướng đến ảnh của sao tạo thành với phương thực KS một góc $\sigma$ được gọi là *góc dịch chuyển tinh sai* hay gọi tắt là *tinh sai* của sao S.

Từ tam giác $KOK_o$ ta có :

$$\sin\sigma = \frac{v}{c}\sin\alpha.$$

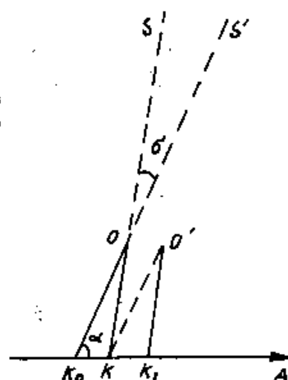
Vì góc $\sigma$ rất bé nên có thể viết :

$$\sigma = 206\ 265'' \frac{v}{c}\sin\alpha \qquad (2.2)$$

trong đó $\alpha$ là góc giữa phương quan sát thiên thể và phương chuyển động của người quan sát tức là phương chuyển động của

Trái Đất (phương hướng đến điểm A trên hình 25). Điểm A được gọi là điểm tới và có tên là điểm Apec.

Cần chú ý rằng một người quan sát đứng yên trên Trái Đất, thì thực ra là đang tham gia đồng thời hai chuyển động : chuyển động quay quanh trục Trái Đất và chuyển động quanh Mặt Trời. Vì vậy ta phải phân biệt hai loại tinh sai : tinh sai ngày và tinh sai năm. Tinh sai ngày là kết quả của sự phối hợp giữa vận tốc ánh sáng và vận tốc quay ($v_q$) của Trái Đất. Tinh sai năm là kết quả của sự phối hợp giữa vận tốc ánh sáng và vận tốc chuyển động v quanh Mặt Trời. Vì $v_q$ rất bé so với v nên giá trị của tinh sai ngày rất bé. Ta hãy tính tinh sai năm : Biết vận tốc chuyển động quanh Mặt Trời v = 29,78 km/s, vận tốc ánh sáng c = 299 792 km/s và theo (2.2) ta có :




*Hình 25*

$$\sigma = 206\,265'' \frac{29,78}{299\,792} \sin\alpha$$

$$\sigma \approx 20''50 \sin\alpha \qquad (2.3)$$

Vì điểm tới A nằm trên mặt phẳng hoàng đạo và dịch chuyển đúng một vòng trong một năm nên các vị trí nhìn thấy của thiên thể nằm ở hoàng cực trong một năm tạo thành một vòng tròn có bán kính góc là 20"50 và có tâm là vị trí thực của thiên thể đó. Các thiên thể ở các vùng khác của thiên cầu vẽ những elip tinh sai với bán trục lớn là 20"50.

Các thiên thể nằm trên mặt phẳng hoàng đạo vẽ thành 1 cung có độ dài 20"50 . 2 = 41".

Sự khác nhau giữa thị sai hàng năm và tinh sai là ở chỗ thị sai hàng năm phụ thuộc vào khoảng cách đến các sao, còn tinh sai chỉ phụ thuộc kích thước quỹ đạo chuyển động của Trái Đất. Từ đó bán trục lớn elip thị sai của các sao có độ lớn khác nhau, ngược lại bán trục lớn elip tinh sai của các sao có trị số bằng nhau và bằng 20"50.

## BÀI TẬP CHƯƠNG II

1. Dựa vào tam giác đạc thực hiện ở Pêru, Lapôni và ở Pháp người ta đã tính được độ dài cung $1^{o}$ (một độ) như sau :

Pêru ($\varphi = -2^{o}$) 110,578m

Pháp ($\varphi = +49^{o}$) 112,214m

Lapôni ($\varphi = +66^{o}$) 111,950m

Hãy tính bán kính chính khúc của Trái Đất tại ba nơi ấy.

2. Tính tầm nhìn xa khi một thủy thủ đứng ở một nơi trên con tàu mà mắt người ấy cách mặt nước biển 10m. Coi Trái Đất có dạng cầu với bán kính 6370km. Bỏ qua sự hấp thụ ánh sáng của khí quyển.

3. Tính độ dài của con lắc có chu kì dao động là một giây đặt tại Hà Nội ($\varphi = 21^{o}$)

4. Tính tâm sai quỹ đạo của Trái Đất biết rằng đường kính góc của Mặt Trời lớn nhất vào đầu tháng giêng bằng 32'36",4 và bé nhất vào đầu tháng bảy bằng 31'32",8.

# *Chương III*

# QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC THIÊN THỂ

Lực tương tác chung của các vật trong vũ trụ là lực vạn vật hấp dẫn. Dưới tác dụng của lực này, các thiên thể chuyển động theo những quỹ đạo xác định.

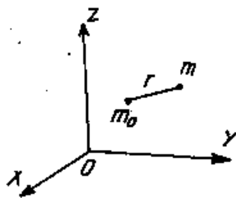
Ba định luật mà Kêple đã thành lập từ số liệu quan trắc chỉ mới là quy luật chuyển động của các hành tinh quanh Mặt Trời. Quy luật chuyển động tổng quát của các thiên thể dưới tác dụng của lực hấp dẫn tương hỗ còn đa dạng hơn nhiều. Bài toán này là nội dung cơ bản của ngành Cơ học thiên thể.

Chương này giới thiệu bài toán hai vật và khái niệm được gọi là lực nhiễu loạn đối với bài toán nhiều vật.

## §19. BÀI TOÁN HAI VẬT

Giả sử có hai vật với khối lượng tương ứng $m_o$ và $m_1$ được coi như hai chất điểm và cách nhau một khoảng r. Ta hãy khảo sát chuyển động của chúng dưới tác dụng của lực hấp dẫn tương hỗ $F = G\, m_o\, m_1/r^2$.

Phương trình chuyển động của mỗi vật thành lập trong hệ tọa độ cố định (quán tính) OXYZ (H.26a) là :




*Hình 26a*

Đối với vật $m_o$ :

$$\frac{d^2X_o}{dt^2} = Gm\frac{X - X_o}{r^3}$$

$$\frac{d^2Y_o}{dt^2} = Gm\frac{Y - Y_o}{r^3} \qquad (3.1)$$

$$\frac{d^2Z_o}{dt^2} = Gm\frac{Z - Z_o}{r^3}$$

Trong đó $X_o$, $Y_o$, $Z_o$ và X, Y, Z là tọa độ của $m_o$ và m ở thời điểm khảo sát.

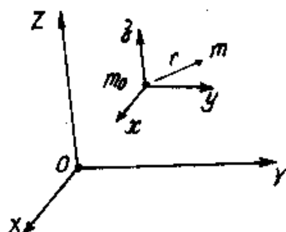
Cũng như vậy đối với vật m ta có :

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -Gm_o\frac{X - X_o}{r^3}$$

$$\frac{d^2Y}{dt^2} = -Gm_o\frac{Y - Y_o}{r^3} \qquad (3.2)$$

$$\frac{d^2Z}{dt^2} = -Gm_o\frac{Z - Z_o}{r^3}$$

Đối với hệ hai vật này có 6 phương trình vi phân hạng hai. Muốn giải ta phải thực hiện 12 phép tính tích phân. Trong thực tế người ta thường xét chuyển động tương đối, tức là xét chuyển động của một vật đối với vật kia được coi như nằm yên. Muốn vậy, ta sử dụng hệ tọa độ Oxyz gắn với một vật, ví dụ với vật $m_o$ (H.26b). Trường hợp này thì tọa độ của vật m sẽ là x, y, z và ta có :



*Hình 26b*

$x = X - X_o$ ; $\qquad y = Y - Y_o$ ; $\qquad z = Z - Z_o$

$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

Vận dụng hệ phương trình (3.1) và (3.2) ta sẽ được hệ phương trình chuyển động tương đối của vật m đối với vật $m_o$.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -G(m_o + m)\frac{x}{r^3}$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -G(m_o + m)\frac{y}{r^3}$$
$$\frac{d^2z}{dt^2} = -G(m_o + m)\frac{z}{r^3}$$

hay

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -K\frac{x}{r^3}$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -K\frac{y}{r^3} \qquad (3.3)$$
$$\frac{d^2z}{dt^2} = -K\frac{z}{r^3}$$

với $K = G(m_o + m)$

Từ hệ phương trình (3.3) ta rút ra được quy luật chuyển động tương đối của vật m đối với vật $m_o$.

Cần biết rằng dưới tác dụng của lực hấp dẫn các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời theo 3 định luật Kêple. Dĩ nhiên việc ta giải bài toán hai vật này nhất định sẽ thu được các định luật ấy, song còn tổng quát hơn nữa.

**1. Suy ra định luật 2 Kêple**

Trước hết cần biết rằng chuyển động của một vật trong trường lực xuyên tâm (bài toán 2 vật ta đang xét cũng là xét chuyển động của một vật (m) trong trường lực xuyên tâm có tâm của lực tại $m_o$) diễn ra trong một mặt phẳng chứa tâm của lực. Như vậy đối với các hệ (3.1), (3.2), (3.3) ta chỉ cần hai tọa độ.

Lần lượt nhân hai phương trình đầu của hệ (3.3) với $-y$ và $x$ rồi cộng hai phương trình này ta thu được :

$$x\frac{d^2y}{dt^2} - y\frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

hay

$$\frac{d}{dt}\left(x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt}\right) = 0$$

Do đó $\quad x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = C$ (hằng số) (3.4)

Trong hệ tọa độ cực với $x = r\cos\varphi$ ; $y = r\sin\varphi$ thì (3.4) co dạng :

$$r^2\frac{d\varphi}{dt} = C$$

nghĩa là ta đã rút ra được định luật 2 mà Kêple đã xây dựng định luật vận tốc diện tích không đổi.

## 2. Suy ra định luật 1 Kêple

Lần lượt nhân hai phương trình đầu trong hệ (3.3) với $\frac{dx}{dt}$ và $\frac{dy}{dt}$ rồi cộng hai phương trình này ta thu được :

$$\frac{d^2x}{dt^2}\frac{dx}{dt} + \frac{d^2y}{dt^2}\frac{dy}{dt} = -\frac{K}{r^2}\left(x\frac{dx}{dt} + y\frac{dy}{dt}\right)$$

hay

$$\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right] = -\frac{K}{r^3}\left(r\frac{dr}{dt}\right)$$

$$\frac{d}{dt}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2\right] = -\frac{2K}{r^2}\frac{dr}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}(v^2) = 2K\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{r}\right)$$

$$v^2 = \frac{2K}{r} + B \qquad (3.5)$$

Chuyển sang hệ tọa độ cực, v có dạng :

$$v^2 = \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$$

hay $$v^2 = \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right]$$

Từ định luật 2 Kêple ta có :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{C}{r^2}$$

và biểu thức của v sẽ là :

$$v^2 = \frac{C^2}{r^4}\left[\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + r^2\right] \qquad (3.6)$$

Từ (3.5) và (3.6) ta suy ra :

$$\frac{dr}{d\varphi} = \frac{r^2}{C}\sqrt{\frac{2K}{r} + B - \frac{C^2}{r^2}}$$

hay

$$d\varphi = \frac{dr}{\frac{r^2}{C}\sqrt{\frac{2K}{r} + B - \frac{C^2}{r^2}}}$$

$$d\varphi = \frac{-d\left(\frac{C}{r}\right)}{\sqrt{\frac{2K}{r} + B - \frac{C^2}{r^2}}}$$

$$d\varphi = \frac{-d\left(\frac{C}{r}\right)}{\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B - \left(\frac{C}{r} - \frac{K}{C}\right)^2}}$$

Vì $\frac{K}{C}$ là hằng số, nên có thể viết :

$$d\varphi = \frac{-d\left(\frac{C}{r} - \frac{K}{C}\right)}{\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B - \left(\frac{C}{r} - \frac{K}{C}\right)^2}}$$

Chia tử và mẫu ở vế phải cho $\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B}$ ta được

$$d\varphi = \frac{\dfrac{-d\left(\frac{C}{r} - \frac{K}{C}\right)}{\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B}}}{\sqrt{1 - \dfrac{\left(\frac{C}{r} - \frac{K}{C}\right)^2}{\frac{K^2}{C^2} + B}}}$$

$$\varphi = \arccos \frac{\frac{C}{r} - \frac{K}{C}}{\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B}} + A$$

hay $$\cos(\varphi - A) = \frac{\frac{C}{r} - \frac{K}{C}}{\sqrt{\frac{K^2}{C^2} + B}}$$

Từ đó $$r = \frac{\frac{C^2}{K}}{1 + \sqrt{1 + B\frac{C^2}{K}}\cos(\varphi - A)}$$

hay $$r = \frac{p}{1 + e\cos(\varphi - A)} \quad (3.7)$$

Đây là phương trình đường cong bậc hai, trong đó có p là thông số

$$p = \frac{C^2}{K} = \text{hằng số}$$

và tâm sai $$e = \sqrt{1 + B\frac{C^2}{K^2}} = \text{hằng số}$$

hay $$e^2 = 1 + B\frac{C^2}{K^2} = 1 + \frac{B}{K}p \quad (3.8)$$

Ta có nhận xét rằng (3.5) và (3.8) đều chứa hằng số tích phân B. Điều đó cho thấy có mối liên hệ giữa vận tốc v và tâm sai e, hay nói cách khác có mối liên hệ giữa vận tốc v với dạng của quỹ đạo. Như vậy ta có thể khảo sát chuyển động cụ thể của vật qua (3.5) và (3.8) :

$$v^2 = \frac{2K}{r} + B$$

$$e^2 = 1 + \frac{B}{K}p$$

a) Quỹ đạo elip : $e < 1$, $p = a(1 - e^2)$

thì $$B = -\frac{K}{a} < 0$$

và $$v_e^2 = \frac{2K}{r} - \frac{K}{a} = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) \quad (3.9)$$

b) Quỹ đạo tròn $e = 0$, $r = a$

thì $$v^2 = \frac{K}{r} \quad (3.10)$$

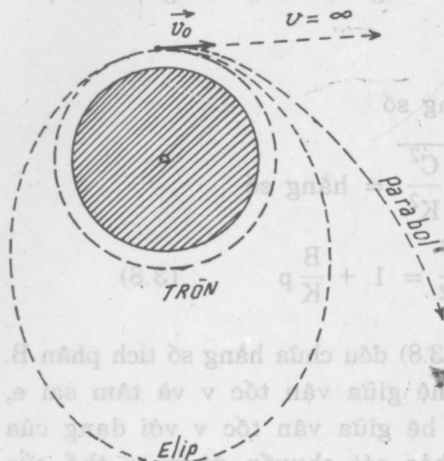
c) Quỹ đạo parabol $e = 1$

$B = 0$

thì $$v_p^2 = \frac{2K}{r} = 2v_1 \quad (3.11)$$

d) Quỹ đạo hipecbol $e > 1$ và $p = a(e^2 - 1)$,

$$\text{thì} \quad B = \frac{K}{a} \text{ và } v_h^2 = K\left(\frac{2}{r} + \frac{1}{a}\right) \qquad (3.12)$$



*Hình 27*

Như vậy dạng cụ thể của quỹ đạo phụ thuộc vào vận tốc ban đầu và khoảng cách giữa hai vật tức là phụ thuộc vào năng lượng toàn phần của hai vật (động năng + thế năng).

Hình 27 là họ các quỹ đạo của vật m ứng với các vận tốc ban đầu $v_o$ khác nhau tính từ cận điểm (r lúc này có môđun cực tiểu).

BẢNG TÓM TẮT

| *Vận tốc ban đầu* $v_o$ | *Dạng quỹ đạo* |
|---|---|
| $v_t^2 = \frac{K}{r} = G\left(\frac{M+m}{r}\right)$ | tròn |
| $v_e^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$ | elip |
| $v_p^2 = \frac{2K}{r}$ | parabol |
| $v_h^2 = K\left(\frac{2}{r} + \frac{1}{a}\right)$ | hipecbol |

Từ định luật I và II Kêple ta rút ra được biểu thức của định luật III Kêple chính xác :

$$\frac{T^2(M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G} = \text{const} \qquad (3.13)$$

Định luật III Kêple chính xác được phát biểu như sau : Tỉ số giữa tích của bình phương chu kì chuyển động của một vật quanh một vật khác với tổng khối lượng của chúng và lập phương bán trục lớn là một đại lượng không đổi (bằng $\frac{4\pi^2}{G}$). Tỉ số có giá trị chung cho mọi cặp vật.

Ta hãy áp dụng định luật III Kêple chính xác (3.13) để xét hai hành tinh có khối lượng tương ứng là $m_1$ và $m_2$ chuyển động quanh Mặt Trời có khối lượng M :

$$\frac{T_1^2(M + m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{G}$$

$$\frac{T_2^2(M + m_2)}{a_2^3} = \frac{4\pi^2}{G}$$

Do đó :
$$\frac{T_1^2(M + m_1)}{T_2^2(M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \qquad (3.14)$$

Vì khối lượng của hành tinh ($m_1$ và $m_2$) rất bé so với khối lượng của Mặt Trời M nên (3.14) có biểu thức gần đúng :

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \qquad (3.15)$$

(3.15) là biểu thức của định luật III mà Kêple đã xác lập từ số liệu quan trắc.

Định luật III Kêple chính xác (3.13) có vai trò quan trọng trong thiên văn học vì từ định luật này người ta có khả năng xác định được khối lượng của các thiên thể mỗi khi biết được chu kì và bán trục lớn quỹ đạo chuyển động của thiên thể này quanh thiên thể khác (hai đại lượng chu kì và bán trục lớn có thể xác định được bằng quan trắc).

## §20. BÀI TOÁN NHIỀU VẬT. LỰC NHIỄU LOẠN

Bài toán hai vật đã xét là bài toán lí tưởng. Trong thiên nhiên có rất nhiều vật tương tác lẫn nhau. Chẳng hạn khi xét chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất thì ngoài lực tác dụng của Trái Đất, Mặt Trăng còn chịu lực tác dụng của Mặt Trời, của các hành tinh khác... Do đó quỹ đạo của Mặt Trăng không còn là một elip toán học mà bị biến dạng, rất phức tạp.

Việc giải bài toán nhiều vật, ngay cả bài toán ba vật là vô cùng khó khăn, chỉ có thể giải một cách gần đúng. Trong tiết này chúng ta sẽ tìm hiểu phương pháp giải và từ đó hiểu được khái niệm được gọi là lực nhiễu loạn và những ứng dụng lí thú của bài toán nhiều vật (xem §21)

Thử khảo sát sự nhiễu loạn trong chuyển động của một hành tinh của hệ Mặt Trời.

Gọi khối lượng của Mặt Trời và của các hành tinh theo thứ tự $m_o$, $m_1$, $m_2$..., $m_n$.

Lực hấp dẫn tương hỗ giữa hai thiên thể số i và j có dạng :

$$F_{ij} = G\frac{m_i m_j}{r_{ij}^2}$$

Trong hệ tọa độ tuyệt đối thì thành phần của tổng hợp lực (trên tọa độ X) của các thiên thể khác tác dụng lên vật số i là :

$$\begin{aligned} F_{ix} &= m_i \ddot{X}_i \\ &= Gm_i m_o \frac{X_o - X_i}{r_{io}^3} + ... + Gm_i m_n \frac{X_n - X_i}{r_{in}^3} \\ &= G\sum_{j=0}^{n} m_i m_j \frac{X_j - X_i}{r_{ij}^3} \end{aligned}$$

hay $$\ddot{X}_i = G \sum_{j=0}^{n}{}' m_j \frac{X_j - X_i}{r_{ij}^3} \quad (3.16)$$

Dấu phẩy (,) ở tổng ($\sum$) có nghĩa là j được lấy trị số từ 0 đến n trừ j = i. Đối với vật $m_o$ ta cũng có biểu thức tương tự :

$$\ddot{X}_o = G \sum_{j=0}^{n}{}' m_j \frac{X_j - X_o}{r_{oj}^3} \quad (3.17)$$

Nếu xét chuyển động tương đối của hành tinh đối với Mặt Trời (lấy gốc tọa độ trùng với Mặt Trời $m_o$) thì :

$$x_i = X_i - X_o \quad \text{v.v...}$$

và (3.16), (3.17) sẽ có dạng :

$$\ddot{X}_i = G \sum_{j=0}^{n}{}' m_j \frac{X_j - X_i}{r_{ij}^3} = G m_o \frac{-x_i}{r_{io}^3} + G \sum_{j=1}^{n}{}' m_j \frac{x_j - x_i}{r_{ij}^3}$$

$$\ddot{X}_o = G \sum_{j=0}^{n}{}' m_j \frac{x_j}{r_{oj}^3} = G m_i \frac{x_i}{r_{oi}^3} + G \sum_{j=1}^{n}{}' m_j \frac{x_j}{r_{oj}^3}$$

Do đó $\ddot{x}_i = \ddot{X}_i - \ddot{X}_o$ sẽ là :

$$\ddot{x}_i = -G(m_o + m_i) \frac{x_i}{r_{oi}^3} + G \sum_{j=1}^{n}{}' m_j \left( \frac{x_j - x_i}{r_{ij}^3} - \frac{x_j}{r_{oj}^3} \right)$$

hay : $$\ddot{x}_i = -K \frac{x_i}{r_{oi}^3} + G \sum_{j=1}^{n}{}' m_j \left( \frac{x_j - x_i}{r_{ij}^3} - \frac{x_j}{r_{oj}^3} \right) \quad (3.18)$$

Đối với 2 tọa độ Y và Z ta cũng có biểu thức tương tự.

(3.18) là phương trình chuyển động của hành tinh thứ i đối với Mặt Trời trong trường hấp dẫn của hệ Mặt Trời (các thiên thể từ 0 đến n). Số hạng đầu của vế phải trong (3.18) là gia tốc hấp dẫn của Mặt Trời (vật 0) lên vật i (tương tự như bài toán 2 vật đã xét). Còn số hạng thứ hai biểu diễn tổng của lực

hấp dẫn của các thiên thể khác lên vật khảo sát i và lên Mặt Trời được coi như nằm yên. Phép tính cho biết rằng số hạng thứ hai này có trị số rất bé so với trị số của số hạng đầu và do đó nó được gọi là gia tốc nhiễu loạn.

Để thấy rõ hơn ý nghĩa của gia tốc nhiễu loạn ta hãy xét một hệ đơn giản gồm 3 vật, ví dụ hệ gồm Mặt Trời, Trái Đất và Hỏa Tinh với khối lượng tương ứng là $m_o$, $m_1$ và $m_2$.

Theo (3.18) thì phương trình chuyển động của Trái Đất ($m_1$) đối với Mặt Trời là :

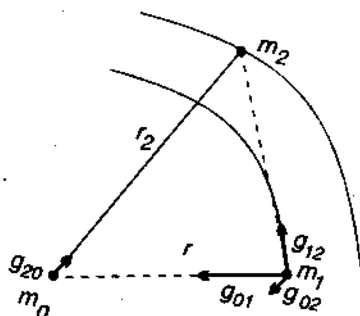
$$\ddot{x}_1 = -k\frac{x_1}{r_{01}^3} + Gm_2\left(\frac{x_2 - x_1}{r_{12}^3} - \frac{x_2}{r_{02}^3}\right)$$

Như vậy gia tốc của Trái Đất có 3 thành phần (H.28) :

*a) Gia tốc chủ đạo :*

$$g_{01} = \frac{-Kx_1}{r_{01}^3} = -G(m_o + m_1)\frac{x_1}{r_{01}^3}$$

do Mặt Trời tác dụng và hướng về Mặt Trời.



*Hình 28*

*b) Gia tốc nhiễu loạn thứ nhất :*

$$g_{12} = Gm_2\frac{x_2 - x_1}{r_{12}^3}$$

do Hỏa Tinh tác dụng và hướng về Hỏa Tinh.

*c) Gia tốc nhiễu loạn thứ hai :*

$$g_{02} = -g_{20} = -Gm_2\frac{x_2}{r_{02}^3}$$

Có gia tốc nhiễu loạn thứ hai này là do ta xét chuyển động của Trái Đất đối với Mặt Trời được coi như đứng yên (vì trong thực tế Mặt Trời còn bị tác dụng hấp dẫn của Hỏa Tinh với gia tốc $g_{20} = Gm_2\frac{x_2}{r_{02}^3}$ nên phải tính đến gia tốc này).

Ta thấy rằng gia tốc nhiễu loạn phụ thuộc vào khối lượng của Hỏa Tinh và vào khoảng cách từ Hỏa Tinh đến Trái Đất và Mặt Trời. Rõ ràng các khoảng cách này đều thay đổi theo thời gian và do đó gia tốc nhiễu loạn có độ lớn và hướng luôn luôn biến thiên. Điều này cho ta thấy việc giải bài toán nhiều vật, ngay cả bài toán 3 vật là rất phức tạp.

## §21. QUÁ TRÌNH PHÁT HIỆN THÊM CÁC HÀNH TINH

Cho đến giữa thế kỉ XVIII, người ta chỉ mới biết được 6 hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời : Thủy Tinh, Kim Tinh, Trái Đất, Hỏa Tinh, Mộc Tinh và Thổ Tinh. Nghiên cứu khoảng cách từ các hành tinh này đến Mặt Trời người ta thấy có quy luật sau :

Nếu cộng thêm 4 cho mỗi số trong dãy số 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96 thì ta được một dãy số mới biểu diễn khá chính xác khoảng cách từ các hành tinh đến Mặt Trời.

| T.T | K.T | T.Đ | H.T | | M.T | T.T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 7 | 10 | 16 | 28 | 52 | 100 |
| (3,9) | (7,3) | (10) | (15,2) | | (52) | (95,4)* |

Điều đáng chú ý là ứng với con số 28 không có hành tinh ? Đến cuối thế kỉ XVIII nhà thiên văn nghiệp dư Italia Piatxi đã phát hiện qua ống kính một thiên thể có độ sáng rất yếu di chuyển đối với các sao. Sử dụng các số liệu quan sát của Piatxi nhà toán học Gauxơ đã xác định được quỹ đạo elip của thiên thể này có bán trục lớn bằng 27,7. Thiên thể mà Piatxi phát hiện là một hành tinh có kích thước rất bé so với các hành tinh đã biết và được gọi là hành tinh tí hon. Đến nay người ta đã

* Các số có móc đơn chỉ khoảng cách thực từ Mặt Trời đến các hành tinh với quy ước khoảng cách từ Mặt Trời đến Trái Đất là 10 đơn vị.

phát hiện trên hai ngàn hành tinh tí hon như vậy (quỹ đạo của chúng đều nằm ở giữa quỹ đạo của Hỏa Tinh và của Mộc Tinh).

Năm 1781 nhà thiên văn Anh Hecsen đã phát hiện qua ống kính một hành tinh lớn và được gọi là Thiên Vương Tinh. Quỹ đạo của Thiên Vương Tinh nằm ở ngoài quỹ đạo của Thổ Tinh. Nghiên cứu dạng quỹ đạo của Thiên Vương Tinh người ta cho rằng phải có một hành tinh nào khác nữa đã gây nhiễu loạn lên chuyển động của hành tinh này. Một bài toán mới đã đặt ra cho các nhà thiên văn là : Theo đặc điểm nhiễu loạn trong quỹ đạo chuyển động của Thiên Vương Tinh hãy đoán nhận vị trí của hành tinh (chưa biết) đã gây ra nhiễu loạn đó. Bài toán hóc búa này đã được nhà khoa học Pháp Lơveriê giải. Vào đêm 23 tháng 9 năm 1846 nhà thiên văn Đức Galê đã quan sát được hành tinh dự đoán này ở rất gần vị trí mà Lơveriê đã dự tính trước (sai không đầy $1^{\circ}$). Hành tinh mới này được gọi là Hải Vương Tinh. Năm 1930 người ta lại phát hiện thêm một hành tinh nữa và được gọi là Diêm Vương Tinh.

Như vậy trong hệ Mặt Trời, ngoài hàng ngàn hành tinh tí hon có 9 hành tinh lớn. Nếu kể từ Mặt Trời ra xa thì 9 hành tinh lớn đó là : Thủy Tinh, Kim Tinh, Trái Đất, Hỏa Tinh, Mộc Tinh, Thổ Tinh, Thiên Vương Tinh, Hải Vương Tinh và Diêm Vương Tinh.

Cần nói thêm rằng việc phát hiện Hải Vương Tinh bằng cách giải bài toán nhiễu vật đã chứng tỏ sự đúng đắn của định luật vạn vật hấp dẫn và khả năng kì diệu của toán học.

## §22. XÁC ĐỊNH KHỐI LƯỢNG CỦA CÁC THIÊN THỂ

Khối lượng của các thiên thể có thể xác định qua định luật 3 Kêple hay qua sự phân tích đặc điểm nhiễu loạn trong chuyển động của các thiên thể khác do thiên thể có khối lượng cần được xác định gây nên.

Sử dụng biểu thức chính xác của định luật 3 Kêple (3.15) ta có thể xác định tỉ số giữa khối lượng của Mặt Trời và khối lượng của hành tinh nếu hành tinh này có vệ tinh.

Kí hiệu lần lượt khối lượng của Mặt Trời, hành tinh và vệ tinh là M, m và $m_1$ ; chu kì chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời và chu kì chuyển động của vệ tinh quanh hành tinh là T và $T_1$ ; kí hiệu bán trục lớn của quỹ đạo chuyển động của chúng là a và $a_1$ thì theo định luật 3 Kêple ta có :

$$\frac{T^2(M + m)}{T_1^2(m + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}$$

Từ đó :

$$\frac{M + m}{m + m_1} = \frac{a^3 T_1^2}{a_1^3 T^2} \qquad (3.19)$$

Trong thực tế vì khối lượng của Mặt Trời là rất lớn so với khối lượng của hành tinh ($M >> m$) và khối lượng của hành tinh lại rất lớn so với khối lượng của vệ tinh ($m >> m_1$) nên (3.19) có dạng :

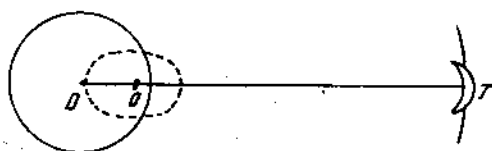
$$\frac{M}{m} = \frac{a^3 T_1^2}{a_1^3 T^2} \qquad (3.20)$$

Vì chu kì chuyển động và bán trục lớn quỹ đạo của các hành tinh và vệ tinh là những đại lượng có thể xác định bằng quan trắc nên từ (3.20) ta xác định được tỉ số khối lượng M/m. Chẳng hạn như ứng dụng (3.20) để xét chuyển động của Mộc Tinh và vệ tinh của nó thì ta biết Mặt Trời có khối lượng lớn hơn khối lượng của Mộc Tinh khoảng 1050 lần.

Cần chú ý thêm rằng trong hệ Mặt Trời thì Trái Đất có khối lượng không quá lớn so với khối lượng của Mặt Trăng. Đối với trường hợp này nếu sử dụng (3.20) để xác định tỉ số M/m sẽ

mắc sai số lớn. Để có độ chính xác cần thiết ta phải sơ bộ tính trước khối lượng của Mặt Trăng rồi mới sử dụng (3.19).

Như đã trình bày ở §19 dưới tác dụng của lực hấp dẫn tương hỗ, cả hai thiên thể đều chuyển động trong không gian. Ta nói Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elip là nói đến sự chuyển động tương đối của Mặt Trăng đối với Trái Đất được coi như nằm yên. Trong thực tế Trái Đất và Mặt Trăng đều chuyển động quanh khối tâm chung của hệ Trái Đất + Mặt Trăng, và khối tâm này chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip. Như vậy do sự chuyển động của Trái Đất quanh khối tâm chung của hệ Trái Đất + Mặt Trăng, mà khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời biến thiên theo thời gian với chu kì xác định (bằng chu kì chuyển động của Trái Đất và Mặt Trăng quanh khối tâm chung).



*Hình 29*

Trên hình 29 Trái Đất có tâm là D. Mặt Trăng là T, O là khối tâm chung của hệ. Gọi khoảng cách DO là x, khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng là r thì ta có :

$$mx = m_1(r - x).$$

Bằng quan trắc sự biến thiên khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời người ta xác định được khoảng cách từ tâm Trái Đất đến khối tâm O là x = 4635km. Người ta cũng xác định được khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng r = 384 400km và do đó :

$$m = 81,5m_1$$

Biết chu kì chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời T = 365,25 ngày, chu kì chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất T = 27,32 ngày, bán trục lớn quỹ đạo của Trái Đất a = 149600000 km, bán trục lớn quỹ đạo của Mặt Trăng $a_1$ = 384 400 km. Đưa các giá trị này vào (3.19) ta tính được :

$$M = 330\ 000m.$$

Tức là khối lượng Mặt Trời lớn hơn khối lượng Trái Đất đến 330 000 lần và bằng :

$$M \approx 330\,000.6.10^{24}kg$$

$$M \approx 1,98.10^{30}kg.$$

Biết khối lượng của Mặt Trời, ta có thể xác định dễ dàng khối lượng của các hành tinh theo (3.20)

## §23. CHUYỂN ĐỘNG CỦA VỆ TINH NHÂN TẠO CỦA TRÁI ĐẤT

Quanh Trái Đất có một vệ tinh thiên nhiên chuyển động, đó là Mặt Trăng.

Ngày 4-X-1957, lần đầu tiên trong lịch sử, Liên Xô cũ đã phóng thành công vệ tinh nhân tạo đầu tiên của Trái Đất, mở đầu kỉ nguyên du hành vũ trụ.

Cần biết rằng các thiên thể nhân tạo cũng chuyển động theo các định luật Kêple (quỹ đạo chuyển động của chúng phụ thuộc vào lực hấp dẫn và vận tốc ban đầu).

Bằng tên lửa nhiều tầng, vật phóng được tăng tốc dần. Khi tầng cuối ngừng hoạt động và tách ra khỏi vật phóng thì vật phóng đã tới một điểm có độ cao xác định và có vận tốc xác định theo phương nằm ngang. Điểm này được gọi là điểm vào quỹ đạo.

Nếu tại điểm vào quỹ đạo vận tốc của vật đạt vận tốc chuyển động tròn $v_1^2 = G(m_o + m)/r$ thì vật sẽ chuyển động tròn quanh Trái Đất.

Nếu vận tốc bé hay lớn hơn vận tốc chuyển động tròn thì vật sẽ chuyển động theo quỹ đạo elip. Trong trường hợp bé hơn thì điểm lên quỹ đạo là viễn điểm, trường hợp ngược lại là cận

điểm. Rõ ràng trong trường hợp thứ nhất vật sẽ lại rơi xuống mặt đất.

Vì khối lượng của vật phóng m rất bé so với khối lượng của Trái Đất nên vận tốc chuyển động tròn của vệ tinh nhân tạo ở độ cao h trên mặt đất (cách tâm Trái Đất r = R + h, với R là bán kính của Trái Đất) được tính theo công thức :

$$v_t^2 = \sqrt{\frac{GM}{R + h}}$$

Một vệ tinh nhân tạo tưởng tượng chuyển động theo quỹ đạo tròn ở sát mặt đất (h = 0) thì phải có vận tốc

$$V_I = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 7{,}91 km/s \qquad (3.21)$$

Vận tốc $V_I$ này được gọi là vận tốc vũ trụ cấp I của Trái Đất.

Trong thực tế, các vệ tinh nhân tạo được phóng lên khá cao (thường cao trên 100km) để tránh lớp khí quyển dày đặc, nhưng dù sao thì khí quyển vẫn còn và do ma sát mà quỹ đạo của chúng liên tục biến đổi, cụ thể bán trục lớn của quỹ đạo giảm dần. Vì càng ở gần mặt đất khí quyển càng dày đặc nên vận tốc của vệ tinh bị giảm nhanh khi chuyển động ở vùng cận điểm. Từ đó độ cao của viễn điểm giảm rõ rệt sau mỗi vòng chuyển động cho đến khi quỹ đạo có dạng tròn. Từ đây vệ tinh chịu lực ma sát đồng đều trên toàn quỹ đạo nên hạ thấp dần theo đường xoắn ốc đi vào lớp khí quyển dày đặc và bốc cháy.

Cần chú ý rằng vì bán kính quỹ đạo của vệ tinh ngày càng giảm, tức là thế năng của nó ngày càng giảm và một phần của độ giảm thế năng này được chuyển sang động năng dẫn đến kết quả là vận tốc của vệ tinh không bị giảm mà ngược lại tăng lên và do đó chu kì chuyển động của nó cũng giảm dần (phù hợp với định luật 3 Kêple).

## §24. CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC TRẠM VŨ TRỤ

Ta gọi trạm vũ trụ là vật được phóng lên quỹ đạo với vận tốc lớn hơn vận tốc vũ trụ cấp I, đến mức có khả năng vượt ra khỏi phạm vi tác dụng của Trái Đất và tiến đến các thiên thể khác trong hệ Mặt Trời. Quỹ đạo của các trạm vũ trụ bao gồm hai phần chính : phần hoạt động và phần thụ động. Trong phần hoạt động, trạm chuyển động nhờ sức đẩy của tên lửa. Phần thụ động bắt đầu từ lúc tên lửa ngừng hoạt động và từ đây trạm tiếp tục chuyển động trong trường hấp dẫn của Trái Đất và của các thiên thể khác của hệ Mặt Trời (Mặt Trăng, Mặt Trời, các hành tinh).

Nếu vận tốc của trạm ở thời điểm bắt đầu phần thụ động bằng (hay lớn hơn) vận tốc parabôl đối với Trái Đất thì trạm sẽ chuyển động theo quỹ đạo parabôl (hay hiperbôl) cho đến khi nó chưa vượt ra khỏi cầu tác dụng của Trái Đất hay chưa đi vào cầu tác dụng của một thiên thể khác nào đó.

Cầu tác dụng của một thiên thể nào đó có khối lượng m so với một thiên thể khác có khối lượng m' là khoảng không gian bao quanh nó mà ở trong khoảng không gian này thỏa mãn điều kiện :

$$\frac{\Delta g}{g} < \frac{\Delta g'}{g'}$$

trong đó g và g' là gia tốc trọng trường trong trường hấp dẫn của thiên thể m và m', $\Delta g$ và $\Delta g'$ là gia tốc nhiễu loạn từ phía m' và m gây ra. Bán kính $\rho$ của cầu tác dụng được tính theo công thức :

$$\rho = r \left(\frac{m}{m'}\right)^{2/5} \qquad (3.22)$$

trong đó r là khoảng cách giữa hai thiên thể đó.

Từ công thức (3.22) ta tính được bán kính cầu tác dụng của Trái Đất so với Mặt Trời bằng 930 000km, và bán kính cầu tác dụng của Mặt Trăng so với Trái Đất bằng 66 000km. Số liệu sau

có nghĩa rằng một con tàu vũ trụ được phóng từ Trái Đất khi tiến đến cách Mặt Trăng 66 000km thì lực chủ yếu quyết định đặc điểm chuyển động tiếp theo của trạm là lực hấp dẫn của Mặt Trăng, còn lực hấp dẫn của Trái Đất chỉ đóng vai trò phụ (lực nhiễu loạn). Tại biên giới này nếu vận tốc của trạm đối với Mặt Trăng bằng không thì trạm sẽ rơi tự do xuống Mặt Trăng, nếu lớn hơn không nhưng bé hơn vận tốc parabôl đối với Mặt Trăng thì tùy theo phương chuyển động của trạm mà trạm có thể chuyển động quanh Mặt Trăng theo quỹ đạo elip hay tròn, nếu vận tốc bằng hay lớn hơn vận tốc parabôl thì trạm có thể thoát li khỏi Mặt Trăng.

Cần nhắc lại rằng một trạm vũ trụ muốn thoát li khỏi Trái Đất thì vận tốc của trạm lúc bắt đầu phần thụ động (tại điểm lên quỹ đạo) phải đạt vận tốc parabôl đối với Trái Đất. Giả sử điểm lên quỹ đạo này ở độ cao h thì vận tốc parabôl là :

$$v_p = \sqrt{\frac{2K}{r}} = \sqrt{\frac{2GM}{R + h}} \qquad (3.23)$$

Nếu điểm bắt đầu phần thụ động lấy ngay tại mặt đất (h = 0) thì :

$$v_p = \sqrt{\frac{2GM}{R}}.$$

Vận tốc này được gọi là vận tốc vũ trụ cấp II của Trái Đất :

$$V_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad (3.24)$$

$$V_{II} = V_I \sqrt{2}$$

$$V_{II} = 7,91 \sqrt{2} \text{ km/s}$$

$$V_{II} = 11,2 \text{ km/s}$$

Bây giờ ta hãy tìm hiểu khái niệm được gọi là vận tốc vũ trụ cấp III, vận tốc ban đầu cần thiết để cho trạm vũ trụ thoát li khỏi hệ Mặt Trời tiến vào khoảng không giữa các sao.

Muốn cho một trạm vũ trụ vượt khỏi lực hấp dẫn của Trái Đất tiến vào cầu tác dụng của Mặt Trời mà không rơi xuống Mặt Trời thì tại vùng giới hạn này phải có vận tốc v đối với Mặt Trời (vận tốc nhật tâm) khác không. Tùy theo trị số và hướng của vận tốc nhật tâm v này mà quỹ đạo chuyển động của trạm đối với Mặt Trời có dạng khác nhau. Cần biết rằng các trạm vũ trụ được phóng từ Trái Đất đang chuyển động quanh Mặt Trời với vận tốc xác định $v_D$. Hiệu số vận tốc nhật tâm v của trạm và $v_D$ của Trái Đất được gọi là vận tốc bổ sung $v_{BS}$ của trạm – vận tốc của trạm đối với Trái Đất khi nó rời khỏi cầu tác dụng của Trái Đất so với Mặt Trời.

Vận tốc ban đầu của trạm (tại điểm lên quỹ đạo ở độ cao h) được tính theo (3.9) :

$$v_o^2 = \frac{2GM}{R + h} - \frac{GM}{a}$$

Vận tốc của trạm ở khoảng cách r bằng bán kính cầu tác dụng của Trái Đất $\rho$, chính là vận tốc bổ sung của trạm cũng được tính theo (3.9) :

$$v_{BS}^2 = \frac{2GM}{\rho} - \frac{GM}{a}$$

Từ 2 phương trình trên ta có :

$$v_o^2 - v_{BS}^2 = \frac{2GM}{R + h} - \frac{2GM}{\rho}$$

hay $$v_o^2 - v_{BS}^2 = v_p^2 - \frac{2GM}{\rho} \approx v_p^2$$

vì $\rho$ khá lớn so với R + h.

Như vậy vận tốc ban đầu của trạm được tính theo công thức

$$v_o = \sqrt{v_p^2 + v_{BS}^2} \qquad (3.25)$$

Đến đây ta hãy tính vận tốc ban đầu cần có của trạm để thoát li hệ Mặt Trời. Muốn vậy vận tốc nhật tâm của trạm phải đạt được vận tốc parabol đối với Mặt Trời. Ta biết Trái Đất

chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip với tâm sai rất bé nên có thể coi như theo quỹ đạo tròn và vận tốc được tính theo (3.10) và bằng $v_o = v_t = 29,8$km/s. Ở khoảng cách của Trái Đất thì vận tốc parabôl đối với Mặt Trời $v_p = v_t\sqrt{2} = 42,1$km/s. Như vậy muốn thoát li khỏi Mặt Trời (khỏi hệ Mặt Trời) thì vận tốc nhật tâm của trạm phải bằng $v = v_p = 42,1$ km/s. Từ đó nếu trạm khi thoát ra khỏi cầu tác dụng của Trái Đất có chiều chuyển động cùng chiều chuyển động của Trái Đất thì vận tốc bổ sung của nó là :

$$v_{BS} = v_p - v_t = (42,1 - 29,8)\text{km/s} = 12,3 \text{ km/s}$$

và nếu ngược chiều với chiều chuyển động của Trái Đất thì :

$$v_{BS} = v_p + v_t = (42,1 + 29,8) \text{ km/s} = 71,9 \text{ km/s}.$$

Như vậy vận tốc ban đầu cần thiết của trạm (tính theo (3.25) trong trường hợp thuận chiều sẽ là :

$$v_o = \sqrt{(11,2)^2 + (12,3)^2} = 16,6\text{km/s}$$

và trong trường hợp ngược chiều sẽ là :

$$v_o = \sqrt{(11,2)^2 + (71,9)^2} = 72,8\text{km/s}.$$

Ta thấy rằng vận tốc ban đầu cần thiết của một trạm (được phóng từ mặt Trái Đất) để có thể thoát li khỏi hệ Mặt Trời phụ thuộc rõ rệt đến chiều chuyển động của trạm khi vượt ra khỏi cầu tác dụng của Trái Đất. Nó nằm trong giới hạn :

$$16,6 \text{ km/s} \leq v_o \leq 72,8 \text{ km/s}.$$

Vận tốc bé nhất bằng 16,6 km/s được gọi là vận tốc vũ trụ cấp III của Trái Đất.

$$V_{III} = 16,6 \text{ km/s}.$$

## BÀI TẬP CHƯƠNG III

1. Một vệ tinh nhân tạo chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elip có tâm sai e, bán trục lớn a và chu kì T.

a) Tính vận tốc dài của vệ tinh ở cận điểm và ở viễn điểm. So sánh độ lớn hai vận tốc ấy.

b) Cho e = 0,2, a = 10 000 km, $R_đ$ = 6 370 km, tính khoảng cách gần nhất và xa nhất từ vệ tinh đến mặt đất.

2. Hãy tính độ cao và vận tốc ngang của một vệ tinh liên lạc địa tĩnh chuyển động tròn quanh Trái Đất (có chu kì bằng chu kì tự quay của Trái Đất) (cho biết diện tích elip là $\pi ab = \pi a^2 \sqrt{1 - e^2}$).

3. Tính gần đúng khối lượng của Mộc Tinh, biết rằng : đối với Mộc Tinh a = 5,2 đơn vị thiên văn, T = 11,9 năm ; đối với vệ tinh Ganimet của Mộc Tinh $a_1 = 7,14.10^{-3}$ đơn vị thiên văn. $T_1 = 1,9.10^{-2}$ năm.

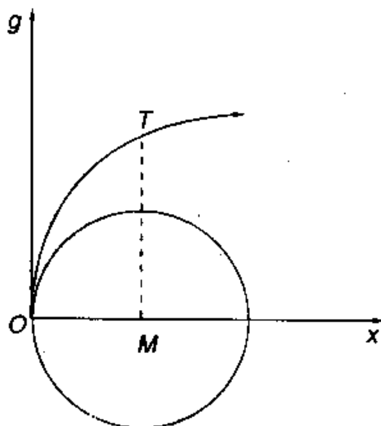
4. Tính vận tốc vũ trụ cấp I và cấp II của Mặt Trăng.

5. Tính vận tốc của vệ tinh nhân tạo bay theo quỹ đạo tròn ở độ cao 250 km quanh Trái Đất, quanh Hỏa Tinh và quanh Mặt Trăng.

6. Người ta phóng một trạm vũ trụ chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn trong mặt phẳng hoàng đạo. Các trạm quan sát từ mặt đất thấy trạm này dao động quanh Mặt Trời với biên độ xác định bằng $45^o$.

a) Tính bán kính quỹ đạo $a_1$ và chu kì chuyển động $T_1$ của Trạm (coi Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn với bán kính bằng 1 đ.v.t.v. và với chu kì 1 năm).

b) Giả sử tại điểm O trên quỹ đạo tròn của trạm (H.30) người ta tăng vận tốc cho trạm tức thời đến vận tốc parabol (trạm bắt đầu chuyển động theo quỹ đạo parabol nhận điểm O làm đỉnh). Hãy tính thời gian trạm chuyển từ điểm O đến điểm T. Cho biết phương trình parabol trong hệ xOy là $y^2 = 2px$ trong đó p là khoảng cách từ tiêu điểm đến đường chuẩn. Chú ý thêm rằng định luật 2 Kêple cũng đúng đối với chuyển động parabol.



*Hình 30*

7. Người ta muốn phóng một vệ tinh nhân tạo theo phương án sau :

a) Từ mặt đất cung cho vệ tinh vận tốc $v_o$ theo phương thẳng đứng.

b) Khi vệ tinh lên đến độ cao h có vận tốc bằng không, người ta lại cung cho nó vận tốc $v_1$ theo phương ngang ($v_1 \perp v_o$) để vệ tinh chuyển động theo quỹ đạo elip có tâm sai e và thông số p được xác định trước.

Bỏ qua sức cản của không khí hãy tính các vận tốc $v_o$ và $v_1$. Cho biết bán kính của Trái Đất là $R_o$ và gia tốc trọng trường tại mặt đất là $g_o$ ($g_o = G\dfrac{M}{R^2}$; M là khối lượng của Trái Đất).

Hướng dẫn. Vì chuyển động trong trường lực xuyên tâm, áp dụng định luật bảo toàn mômen xung lượng và cơ năng.

8. Một vệ tinh nhân tạo đang chuyển động theo quỹ đạo elip với tâm sai e và thông số p. Khi vệ tinh bay đến viễn điểm thì người ta giảm vận tốc của nó để quỹ đạo mới có khoảng cách cận điểm bằng bán kính $R_o$ của Trái Đất (nghĩa là để đưa vệ tinh trở về Trái Đất). Hãy tính độ giảm vận tốc đó.

# *Chương IV*

# THIÊN CẦU. NHẬT ĐỘNG

Trong các chương trước chúng ta đã xét quy luật chuyển động của các thiên thể. Để phát hiện được các quy luật ấy, người ta đã dựa vào những kết quả xác định vị trí nhìn thấy của các thiên thể trên vòm trời ở nhiều thời điểm quan sát khác nhau. Chương IV này giới thiệu những cơ sở để xác định vị trí nhìn thấy của các thiên thể.

## §25. THIÊN CẦU

### 1. Định nghĩa

Thiên cầu là một mặt cầu tưởng tượng có tâm là nơi ta quan sát, có bán kính vô cùng lớn mà tất cả các thiên thể dường như được phân bố trên mặt đó.

Thiên cầu có mấy đặc điểm đáng chú ý sau :

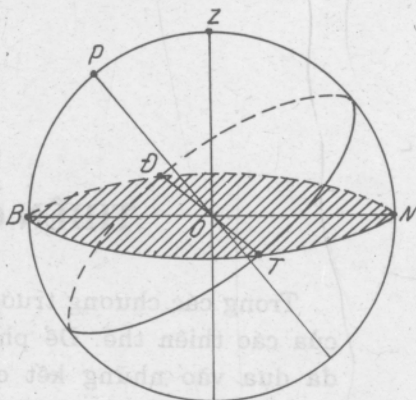
– Mặt phẳng chứa tâm thiên cầu cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn.

– Qua 2 điểm trên thiên cầu không đối tâm chỉ có thể vẽ được một vòng tròn lớn.

– Các vòng tròn lớn đều cắt nhau (tại hai điểm đối tâm)

Chú ý : đoạn thẳng nối 2 điểm (2 thiên thể) trên thiên cầu là một cung của vòng tròn lớn, từ đó ta cũng có thể nói đường thẳng trên thiên cầu là một vòng tròn lớn và như vậy trên thiên cầu ta không thể vẽ được những đường thẳng song song.

## 2. Những điểm và đường cơ bản trên thiên cầu



*Hình 31*

Để xác định vị trí của các thiên thể trên thiên cầu người ta đã quy ước những điểm và đường cơ bản sau (H.31)

– Thiên đỉnh và đường chân trời. Đường thẳng góc với mặt đất ở nơi ta đứng (tâm O của thiên cầu) cắt thiên cầu tại 2 điểm được gọi là *thiên đỉnh* (Z) và *đối thiên đỉnh* (Z'). Mặt phẳng vuông góc với OZ (tiếp tuyến với mặt đất) gọi là mặt phẳng chân trời. Mặt phẳng chân trời cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn được gọi là *đường chân trời* (NTBĐ).

– Thiên cực và xích đạo trời. Đường thẳng qua tâm O mà sự quay của thiên cầu nhận làm trục gọi là *trục vũ trụ*. Trục vũ trụ cắt thiên cầu tại 2 điểm được gọi là *thiên cực Bắc* (P) và *thiên cực Nam* (P'). Thiên cực Bắc là thiên cực nếu hướng đến đó ta thấy các sao nhật động ngược chiều kim đồng hồ. Mặt phẳng qua tâm O và vuông góc với trục vũ trụ PP' (song song với mặt phẳng xích đạo Trái Đất) cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn được gọi là *xích đạo trời*. Xích đạo trời cắt thiên cầu thành 2 nửa Bắc và Nam. Nửa Bắc có thiên cực Bắc P.

– Kim tuyến trời. Các điểm Đông, Tây, Nam, Bắc. Vòng tròn lớn đi qua 2 thiên cực (P.P') và thiên đỉnh (Z) gọi là *kinh tuyến trời*. Kinh tuyến trời cắt đường chân trời tại 2 điểm Bắc (B) và Nam (N). Có thể nói điểm Bắc là điểm chiếu của thiên cực Bắc lên đường chân trời. Nửa vòng kinh tuyến trời giới hạn bởi 2 thiên cực và chứa thiên đỉnh Z gọi là *kinh tuyến trên* còn nửa kia gọi là *kinh tuyến dưới*.

Xích đạo trời cắt đường chân trời tại 2 điểm (cách đều 2 điểm Bắc và Nam) được gọi là *Điểm Đông* (Đ) và *điểm Tây* (T). Rõ ràng kinh tuyến trời chia thiên cầu ra 2 nửa Đông và Tây. Vết chiếu của kinh tuyến trời lên mặt phẳng chân trời (BON) gọi là đường nửa ngày hay *đường Bắc Nam*.

Vòng thẳng đứng. Vòng giờ. Các vòng tròn đi qua thiên đỉnh (Z) và đối thiên đỉnh (Z') thẳng góc với đường chân trời gọi là các *vòng thẳng đứng*. Các vòng tròn đi qua 2 thiên cực (P và P') thẳng góc với xích đạo trời gọi là các *vòng giờ*.

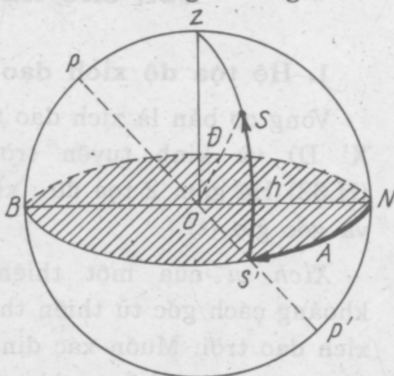
Do Trái Đất tự quay quanh một trục mà ta nhìn thấy thiên cầu quay theo chiều ngược lại với chu kì một ngày gọi là *nhật động*. Do nhật động, tất cả các thiên thể quay quanh trục vũ trụ PP' có quỹ đạo là những vòng tròn song song với xích đạo trời và được gọi là *các vòng nhật động*.

## §26. HỆ TỌA ĐỘ CHÂN TRỜI

Muốn xác định vị trí cụ thể của các thiên thể trên thiên cầu người ta đã sử dụng các hệ tọa độ cầu. Các hệ tọa độ cầu khác nhau phụ thuộc vào các điểm và vòng chọn làm chuẩn khác nhau. Hệ đơn giản nhất là hệ tọa độ chân trời.

Trong hệ tọa độ chân trời, người ta chọn vòng cơ bản là đường chân trời và điểm cơ bản là thiên đỉnh. Hệ gồm 2 tọa độ : độ cao (h) và độ phương (A).

Độ cao h. *Độ cao* của một thiên thể là khoảng cách góc từ thiên thể đó đến đường chân trời. Muốn xác định độ cao của một thiên thể, chẳng hạn như của sao S (H. 32) thì ta vẽ vòng thẳng đứng qua sao đó. Vòng này cắt đường chân trời tại S'. Độ cao h của sao S là : h = cung SS' tương ứng góc SOS'.



*Hình 32*

Độ cao của thiên thể có giá trị nằm trong khoảng từ 0 đến $90^o$. Nhiều khi người ta dùng khoảng cách đỉnh Z thay cho độ cao. *Khoảng cách*

*đỉnh* Z của sao S = cung ZS tương ứng góc ZOS. Rõ ràng đối với một thiên thể thì tổng độ cao và khoảng cách đỉnh của nó bằng $90^o$.

$$h + Z = 90^o \qquad (4.1)$$

– Độ phương A. Độ *phương* của một thiên thể cho ta biết phương quan sát thiên thể đó. Nó có trị số bằng góc giữa vòng thẳng đứng qua điểm Nam (N) và vòng thẳng đứng qua thiên thể khảo sát. Trên hình 32 độ phương A của sao S = góc NOS' = cung NS'. Độ phương được tính từ điểm Nam theo chiều nhật động, tức hướng đến điểm Tây và có trị số từ 0 đến $360^o$. Nhiều khi người ta còn vận dụng quy ước bầu trời Đông và Tây để có độ phương Đông hay Tây ($180^o$ Đ ; T)

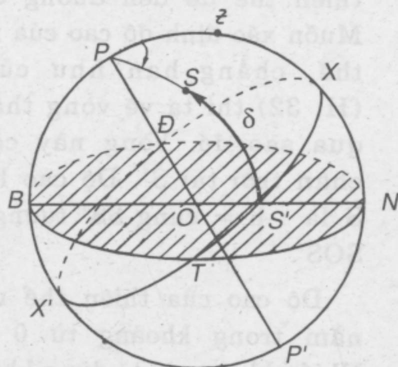
Rõ ràng do nhật động mà tọa độ chân trời của mỗi thiên thể biến đổi theo thời gian. Mặt khác đứng ở các nơi khác nhau trên mặt đất để quan sát một thiên thể nào đó thì sẽ thấy nó ở độ cao và độ phương khác nhau. Như vậy tọa độ chân trời của mỗi thiên thể phụ thuộc vào thời điểm và nơi quan sát và cũng vì thế nó là hệ tọa độ thực hành quan sát.

## §27. CÁC HỆ TỌA ĐỘ XÍCH ĐẠO

### 1. Hệ tọa độ xích đạo 1

Vòng cơ bản là xích đạo trời (X T X' Đ) và kinh tuyến trời PZNP' (H.33) Hệ gồm 2 tọa độ : xích vĩ ($\delta$) và góc giờ (t).

*Xích vĩ* của một thiên thể là khoảng cách góc từ thiên thể đó đến xích đạo trời. Muốn xác định xích vĩ của một thiên thể người ta vẽ vòng giờ qua thiên thể đó.



*Hình 33*

Xích vĩ $\delta$ của sao S = cung SS' = góc SOS'. Xích vĩ của các thiên thể có giá trị nằm trong khoảng từ 0 đến $\pm 90^{\circ}$. Dấu cộng tính cho các thiên thể ở nửa thiên cầu Bắc, dấu trừ nửa thiên cầu Nam.

Do nhật động, các thiên thể vẽ những vòng tròn song song với xích đạo trời. Từ đó xích vĩ của các thiên thể không thay đổi vì nhật động. Nó cũng không phụ thuộc vào nơi quan sát.

*Góc giờ* t của mỗi thiên thể là góc giữa kinh tuyến trên và vòng giờ qua thiên thể đó. Nó được tính từ kinh tuyến trên theo chiều nhật động (tức từ kinh tuyến trên sang hướng tây) và có giá trị từ 0 đến $360^{\circ}$ hay từ 0 đến 24h (mỗi giờ ứng với $15^{\circ}$).

Rõ ràng do nhật động mà góc giờ (t) của mỗi thiên thể biến thiên một cách tuần hoàn (từ 0 đến $360^{\circ}$) với chu kì bằng chu kì nhật động. Hơn nữa nó còn phụ thuộc vào nơi quan sát.

### 2. Hệ tọa độ xích đạo 2

Vòng cơ bản cũng là xích đạo trời. Điểm cơ bản là điểm xuân phân $(\gamma)$[*]. Hệ gồm 2 tọa độ : xích vĩ $\delta$ (cũng giống như ở hệ xích đạo thứ nhất) và xích kinh $\alpha$ (h. 34).

*Xích kinh* $\alpha$ của mỗi sao (S) có trị số bằng góc giữa vòng giờ qua điểm xuân phân (điểm gốc) và vòng giờ qua sao đó.

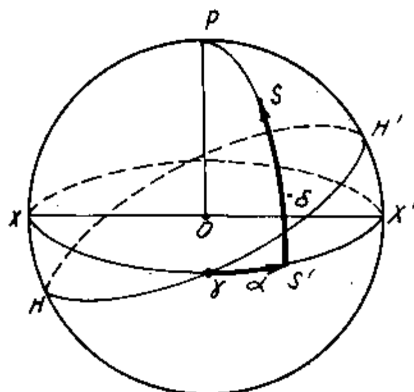
$$\alpha = \text{góc } \gamma OS' = \text{cung } \gamma S'.$$

Xích kinh được tính từ điểm xuân phân $\gamma$ theo chiều ngược với chiều nhật động và có giá trị nằm trong khoảng từ 0 đến $360^{\circ}$ hay từ 0 đến 24 h.

Vì điểm xuân phân nằm yên trong không gian (thực ra có chuyển động do hiện tượng tiến động nhưng rất chậm) nên nó cũng tham gia nhật động như các thiên thể khác. Do đó xích

---

* Điểm xuân phân $(\gamma)$ là một trong hai giao điểm của xích đạo trời và hoàng đạo. Mặt Trời di chuyển biểu kiến qua điểm này từ Nam thiên cầu lên Bắc thiên cầu. Hoàng đạo là quỹ đạo chuyển động biểu kiến của mặt trời trên thiên cầu.



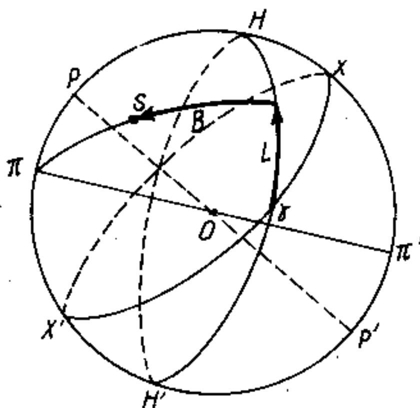

Hình 34

kinh của các thiên thể không thay đổi vì nhật động. Ngoài ra nó cũng không phụ thuộc vào nơi quan sát.

Tóm lại cả hai tọa độ (xích vĩ và xích kinh) trong hệ tọa độ xích đạo thứ hai đều không thay đổi vì nhật động và đều không phụ thuộc vào nơi quan sát. Chúng được dùng để lập các bản đồ sao, cũng như để thông báo các sự di chuyển của thiên thể trên bầu trời chẳng hạn như sao Chổi, các hành tinh, các vệ tinh, Mặt Trăng, Mặt Trời v.v... cũng như các vệ tinh nhân tạo, các con tàu vũ trụ... để cho mọi đài trạm quan sát trên mặt đất cùng sử dụng (bằng cách chuyển từ tọa độ xích đạo, sang tọa độ chân trời để quan sát).

## §28. HỆ TỌA ĐỘ HOÀNG ĐẠO

Trong hệ này, vòng cơ bản là vòng hoàng đạo tức là vòng chuyển động nhìn thấy Mặt Trời trên thiên cầu trong một năm. Trên thiên cầu có hai điểm cách hoàng đạo 90° : điểm π ở trên nửa thiên cầu Bắc gọi là hoàng cực Bắc (hoàng cực Bắc cách thiên cực Bắc một khoảng cách góc bằng góc giữa hoàng đạo và xích đạo) và điểm π' gọi là hoàng cực Nam. Hệ gồm hai tọa độ : *Hoàng vĩ* là khoảng cách góc từ thiên thể đến



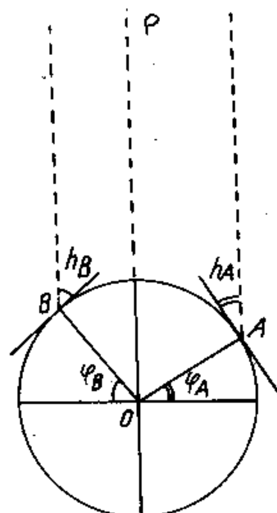

Hình 35

hoàng đạo, kí hiệu là B. Trên hình 35 hoàng vĩ của thiên thể S là cung SS'. Hoàng vĩ có giá trị từ 0 đến ± 90°, dấu (+) đối với các thiên thể phía bắc hoàng đạo, còn dấu (–) đối với phía nam.

Tọa độ thứ hai là *hoàng kinh* L được tính từ điểm xuân phân theo chiều ngược với chiều nhật động. Hoàng kinh có giá trị từ 0 đến $360^o$.

Hệ tọa độ hoàng đạo được sử dụng thuận tiện cho việc theo dõi vị trí của các thiên thể trong hệ Mặt Trời.

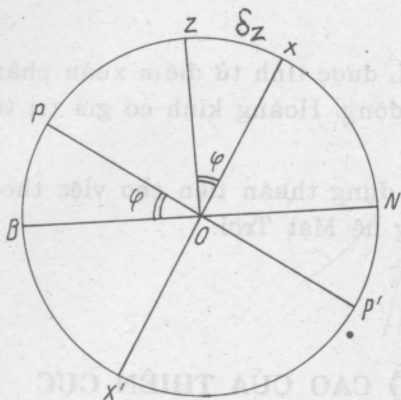
## §29. SỰ LIÊN HỆ GIỮA ĐỘ CAO CỦA THIÊN CỰC VÀ VĨ ĐỘ ĐỊA LÍ CỦA NƠI QUAN SÁT



*Hình 36*

Ta đã biết do Trái Đất quay mà toàn bộ thiên cầu nhật động quanh một trục, được gọi là trục vũ trụ PP' (trùng với trục quay của Trái Đất). Tùy theo từng nơi quan sát khác nhau mà mặt phẳng chân trời tạo thành với trục vũ trụ những góc khác nhau. Ta sẽ chứng minh rằng độ cao của thiên cực quan sát tại mỗi nơi bằng vĩ độ địa lí nơi đó. Vì bán kính thiên cầu vô cùng lớn nên người đứng ở A có trục vũ trụ AP, người đứng ở B có trục vũ trụ BP đều đồng nhất với OP (đều song song với trục quay Trái Đất và cùng cắt thiên cầu ở thiên cực P). Từ hình 36 ta dễ dàng thấy rằng nơi A có vĩ độ $\varphi_A$ thì mặt phẳng chân trời tạo với phương của trục vũ trụ góc $h_A = \varphi_A$. Nơi B có vĩ độ $\varphi_B$ thì mặt phẳng chân trời cũng tạo thành với phương của trục vũ trụ góc $h_B = \varphi_B$.

(Vì là những góc nhọn có cạnh thẳng góc với nhau).



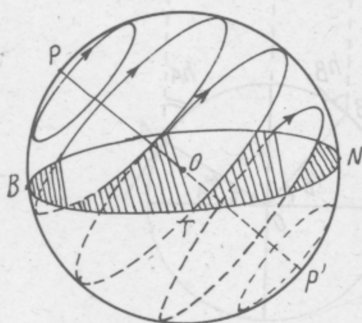
Hình 37

Như vậy ta có công thức :

$$h_p = \varphi \qquad (4.2)$$

Nếu chú ý đến các điểm trên kinh tuyến trời (h.37) và công thức (4.2) thì vĩ độ địa lí cũng có trị số bằng xích vĩ của thiên đỉnh ($\varphi = \delta_z$)

## §30. HIỆN TƯỢNG MỌC VÀ LẶN CỦA CÁC THIÊN THỂ DO NHẬT ĐỘNG



Hình 38

Do nhật động các thiên thể vẽ những đường tròn song song với xích đạo trời. Tùy theo vĩ độ $\varphi$ của nơi quan sát mà xích đạo trời tạo với đường chân trời một góc xác định và từ đó vòng nhật động của các thiên thể hoặc cắt đường chân trời tại 2 điểm hoặc tiếp xúc với đường chân trời, hoặc nằm trên đường chân trời, hoặc khuất dưới đường chân trời (h.38).

Điểm gặp ở phía Đông của bầu trời là điểm mọc, điểm gặp ở phía Tây là điểm lặn của thiên thể.

Quan sát tại một nơi có vĩ độ xác định $\varphi$ thì điều kiện để một thiên thể có mọc và có lặn là xích vĩ ($\delta$) của nó thỏa mãn :

$$|\delta| \leq (90^o - |\varphi|) \qquad (4.3)$$

Các thiên thể nằm trên xích đạo trời XX' ($\delta = 0$) mọc đúng điểm Đông (Đ) và lặn đúng điểm Tây (T).

Các thiên thể ở Bắc thiên cầu ($\delta > 0$) mọc ở phương Đông Bắc và lặn ở phương Tây Bắc.

Các thiên thể ở Nam thiên cầu ($\delta < 0$) mọc ở phương Đông Nam và lặn ở phương Tây Nam.

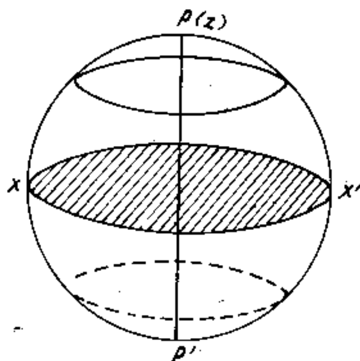
Cuối cùng nếu trị số tuyệt đối của xích vĩ của các thiên thể thỏa mãn :

$$|\delta| \geqslant (90^{\circ} - |\varphi|) \qquad (4.4)$$

thì vòng nhật động không cắt đường chân trời và do đó chúng hoặc không bao giờ lặn hoặc không bao giờ mọc.

## §31. QUAN SÁT BẦU TRỜI TẠI NHỮNG NƠI CÓ VĨ ĐỘ KHÁC NHAU

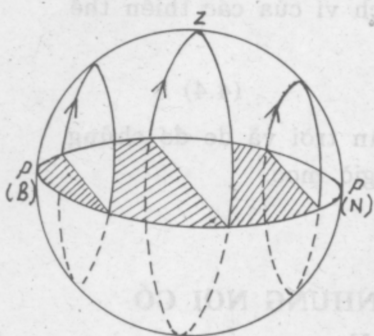
1. Ở địa cực ($\varphi = 90^{\circ}$) theo (4.2) độ cao của thiên cực bằng $90^{\circ}$ thì thiên cực P trùng với thiên đỉnh Z, xích đạo trời trùng với đường chân trời (H. 39). Từ đó các vòng nhật động của các thiên thể đều song song với đường chân trời tức là không có hiện tượng mọc lặn. Nếu đứng ở địa cực Bắc thì các sao có xích vĩ $\delta > 0$ thỏa mãn (4.4) nên không bao giờ lặn còn các sao có xích vĩ $\delta < 0$ thì không bao giờ mọc.



*Hình 39*

Như vậy đứng ở địa cực thì ta chỉ có khả năng quan sát được một nửa bầu trời sao (ở địa cực Bắc chỉ thấy được các sao ở nửa Bắc thiên cầu và ngược lại ở địa cực Nam chỉ thấy được các sao ở Nam thiên cầu).

**2.** Ở xích đạo ($\varphi = 0$) theo (4.2) thì độ cao của thiên cực bằng $0^o$, tức thiên cực nằm ngay trên đường chân trời (thiên cực Bắc trùng với điểm Bắc, thiên cực Nam trùng với điểm Nam (h.40). Trong trường hợp này vòng nhật động của các thiên thể đều thẳng góc với đường chân trời. Như vậy tất cả các thiên thể đều mọc và lặn (thời gian mọc bằng thời gian lặn) và ta quan sát được toàn bộ bầu trời sao.



*Hình 40*

3. Ở vĩ độ trung gian ($0 < \varphi < 90^o$). Hình 38 vẽ cho trường hợp người quan sát đứng ở nửa địa cầu Bắc có vĩ độ trung gian. Rõ ràng đặc điểm mọc lặn của thiên thể còn phụ thuộc vào xích vĩ. Các thiên thể có xích vĩ $\delta = 0$ thì thời gian mọc bằng thời gian lặn, có xích vĩ thỏa mãn $0 < \delta < 90^o - \varphi$ thì thời gian mọc lớn hơn thời gian lặn, có xích vĩ thỏa mãn $\delta > 90^o - \varphi$ thì không bao giờ lặn ; có xích vĩ âm thỏa mãn $0 < |\delta| < 90^o - \varphi$ thì thời gian mọc bé hơn thời gian lặn, có xích vĩ âm thỏa mãn $|\delta| > 90^o - \varphi$ thì không bao giờ mọc. Như vậy đứng ở những nơi có vĩ độ trung gian ta không có khả năng quan sát được toàn bộ bầu trời sao. Càng tiến về hai cực Trái Đất thì số sao thấy được càng ít.

## §32. SỰ BIẾN THIÊN TỌA ĐỘ CỦA CÁC THIÊN THỂ DO NHẬT ĐỘNG

Tại thời điểm thiên thể mọc hay lặn thì độ cao của nó bằng không, còn độ phương A phụ thuộc xích vĩ của nó và độ vĩ nơi quan sát. Từ lúc mọc cho đến lúc qua kinh tuyến trên độ cao của thiên thể tăng dần. Tại kinh tuyến trên độ cao của thiên thể có giá trị cực đại, có độ phương A = 0 (nếu thiên thể ở về

phía Nam thiên đỉnh), hay A = 180° (nếu ở về phía Bắc thiên đỉnh).

Từ thời điểm qua kinh tuyến trên cho đến thời điểm lặn (hay nói tổng quát hơn cho đến thời điểm qua kinh tuyến dưới) thì độ cao của thiên thể giảm dần...

Như vậy tọa độ chân trời (h, A) của mỗi thiên thể biến thiên liên tục do nhật động với chu kì bằng chu kì nhật động nếu như thiên thể đó nằm yên trên thiên cầu.

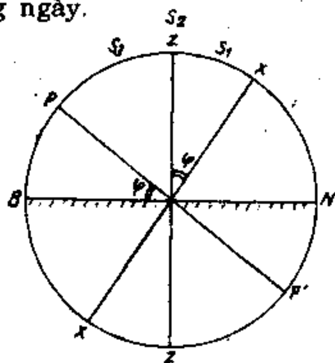
Cũng như độ phương A, góc giờ t của các thiên thể cũng liên tục biến thiên. Tại thời điểm qua kinh tuyến trên thì t = 0 và tại thời điểm qua kinh tuyến dưới thì t = 180° hay 12h. Điều đáng chú ý là góc giờ của các thiên thể biến thiên một cách đều đặn và đây là yếu tố quan trọng cho phép ta xác định giờ chính xác phục vụ cho việc dự báo giờ hằng ngày.

Từ hình 41 suy ra độ cao của các thiên thể khi chúng qua kinh tuyến trên đối với người quan sát ở nửa địa cầu Bắc.

– Nếu $\delta < \varphi$ thì thiên thể qua kinh tuyến trên ở phía Nam thiên đỉnh và độ cao h bằng :

$$h = 90^{\circ} - \varphi + \delta \quad (4.5)$$

hay : $Z = \varphi - \delta$



*Hình 41*

Nếu $\delta = \varphi$ thì thiên thể qua thiên đỉnh Z và độ cao h = 90° (4.6) hay Z = 0.

– Nếu $\delta > \varphi$ thì thiên thể qua kinh tuyến trên ở phía Bắc thiên đỉnh và độ cao h bằng :

$$h = 90^{\circ} + \varphi - \delta \qquad (4.7)$$

hay $Z = \delta - \varphi$

Cần chú ý thêm rằng nếu quan sát tại một nơi xác định một thiên thể nào đó mà có điểm mọc, điểm lặn và độ cao khi qua

kinh tuyến trên không đổi theo thời gian thì rõ ràng xích vĩ của thiên thể này không biến đổi theo thời gian.

Đối với Mặt Trời, Mặt Trăng cũng như các hành tinh... thì điểm mọc và điểm lặn cũng như độ cao khi qua kinh tuyến trên đều biến thiên. Như vậy xích vĩ của các thiên thể này biến đổi theo thời gian.

## BÀI TẬP CHƯƠNG IV

1. Ở nơi nào thì điểm Bắc trùng với thiên cực Bắc và ở nơi nào hai điểm này cách xa nhau nhất.

2. Với điều kiện quan sát nào thì độ cao của sao Bắc cực bằng khoảng cách đỉnh.

3. Chứng minh rằng vòng thẳng đứng thứ nhất (vuông góc với kinh tuyến trời) cắt xích đạo trời tại điểm Đông và điểm Tây.

4. Trong điều kiện quan sát nào thì độ phương của thiên thể không thay đổi từ lúc mọc đến lúc qua kinh tuyến trên.

5. Tìm góc giờ và độ phương của thiên đỉnh.

6. Sao Thiên Lang có xích vĩ $\delta = -16^{\circ}30'$. Tính độ cao và độ phương của nó khi qua kinh tuyến trên đối với người quan sát ở Hà Nội ($\varphi = 21^{\circ}03'$).

7. Sao Chức Nữ có xích kinh là 18h34ph, xích vĩ $38^{\circ}$. Hỏi khi điểm xuân phân qua kinh tuyến trên thì nó ở phương nào của bầu trời (đối với người quan sát tại Hà Nội). Ở thời điểm ấy góc giờ của sao ấy là bao nhiêu ?

# Chương V

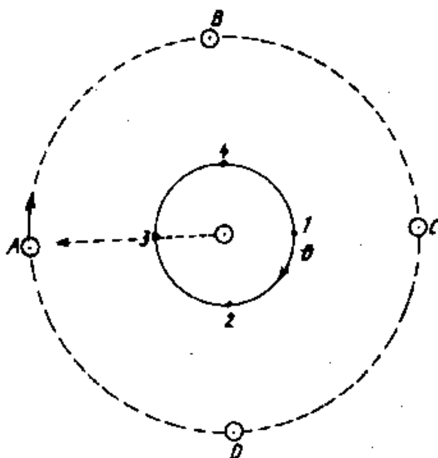
# BỐN MÙA. THỜI GIAN, LỊCH

Như đã biết, do tự quay và chuyển động quanh Mặt Trời mà trên Trái Đất có hiện tượng ngày đêm và biến đổi mùa.

## §33. HOÀNG ĐẠO. HOÀNG ĐỚI

Đặc điểm chuyển động biểu kiến của Mặt Trời (§4) là ngoài nhật động còn từ từ dịch chuyển trên nền trời sao ngược với chiều nhật động (tức là từ Tây sang Đông) với chu kì xác định (1 năm)

Quỹ đạo chuyển động biểu kiến hàng năm của Mặt Trời trên nền trời sao được gọi là *hoàng đạo*. Có hiện tượng chuyển động biểu kiến này là do ta quan sát Mặt Trời từ Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời. Hình 42 biểu diễn chuyển động của Trái Đất Đ quanh Mặt Trời và những vị trí nhìn thấy Mặt Trời O trên nền trời sao. Trái Đất ở vị trí 1 thì ta thấy Mặt Trời ở vị trí A, Trái Đất chuyển động đến vị trí 2 thì ta thấy Mặt Trời ở vị trí B, Trái Đất chuyển động đến các vị trí 3, 4 thì ta thấy Mặt Trời ở các vị trí C, D. Rõ ràng Trái Đất chuyển động đúng một vòng



*Hình 42*

trở về vị trí cũ (1) thì ta cũng thấy Mặt Trời dịch chuyển đúng một vòng trên thiên cầu và chiều chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời cùng chiều với chiều chuyển động của Trái Đất.

Người ta đã chia hoàng đạo ra 12 cung bằng nhau (mỗi cung $30^{o}$). Cung đầu tiên khởi đầu từ điểm Xuân phân $\gamma$.

Các sao nằm dọc theo khu vực hoàng đạo được khoanh ra 12 chòm khá cách đều nhau với dụng ý là Mặt Trời di chuyển qua mỗi chòm trong khoảng thời gian bằng $\frac{1}{12}$ chu kì chuyển động nhìn thấy hàng năm của nó. Đới cầu bao gồm 12 chòm sao nói trên được gọi là *hoàng đới*. Năm dương lịch có 12 tháng, nên ứng với mỗi tháng dương lịch nhất định Mặt Trời di chuyển qua một chòm sao nhất định trên hoàng đới.

*Bảng 1*

CÁC CHÒM SAO TRÊN HOÀNG ĐỚI

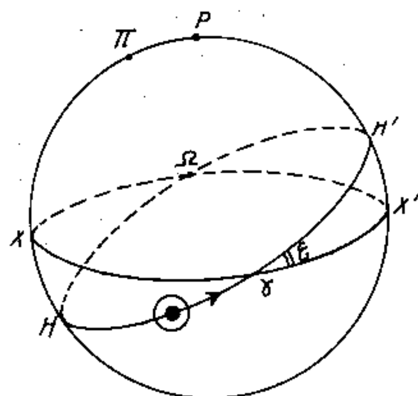
| Tháng | Chòm sao Mặt Trời đi qua | Dấu hiệu | Tháng | Chòm sao Mặt Trời đi qua | Dấu hiệu |
|---|---|---|---|---|---|
| I | Con Hươu (Ma kết) | ♑ | VII | Con Tôm (Cự giải) | ♋ |
| II | Cái Bình (Bảo bình) | ♒ | VIII | Sư tử | ♌ |
| III | Song Ngư | ♓ | IX | Trinh Nữ | ♍ |
| IV | Con Dê (Bạch Dương) | ♈ | X | Cái Cân (Thiên Bình) | ♎ |
| V | Con Trâu (Kim ngưu) | ♉ | XI | Thần Nông | ♏ |
| VI | Song Tử | ♊ | XII | Nhân Mã | ♐ |

Ban ngày không thấy được các sao song ta vẫn có thể khảo sát sự chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời trên hoàng đạo đối với các chòm sao. Chẳng hạn tháng III Mặt Trời in hình lên chòm sao Song Ngư thì lúc Mặt Trời bắt đầu lặn, ta sẽ thấy ở chân trời Đông có chòm Trinh Nữ bắt đầu mọc. Sau đó một tháng, lúc Mặt Trời lặn ta sẽ thấy chòm Trinh Nữ đã nằm cao trên chân trời Đông $30^{o}$ ($360^{o}$ : 12) và chòm Cái Cân bắt đầu mọc, như vậy ở thời kì này Mặt Trời đã in hình lên chòm sao Con Dê... Rõ ràng, nếu ta nhớ hình dạng và thứ tự các chòm

sao trên hoàng đới thì ta có thể xác định được ngày tháng trong năm dương lịch bằng cách quan sát các chòm sao này. Hơn nữa nếu theo dõi nhật động của các chòm sao, ta lại có thể xác định giờ trong đêm. Còn ban ngày thì ta có thể xác định giờ qua vị trí của Mặt Trời.

## §34. ĐỘ NGHIÊNG GIỮA HOÀNG ĐẠO VÀ XÍCH ĐẠO TRỜI

Các kết quả quan sát cho biết thiên cực (P, P') không thay đổi vị trí đối với các sao**. Từ đó ta khẳng định rằng trục tự quay của Trái Đất không đổi phương trong không gian, (tức là trong quá trình chuyển động quanh Mặt Trời, trục Trái Đất vẫn luôn giữ phương song song với chính nó). Ngoài ra, hàng năm xích vĩ $\delta$ của Mặt Trời biến thiên trong khoảng từ $-23^{o}27'$ đến $+23^{o}27'$ chứng tỏ trục Trái Đất không thẳng góc với mặt phẳng quỹ đạo chuyển động (mặt phẳng hoàng đạo) của nó, mà nghiêng một góc $66^{o}33' = 90^{o} - 23^{o}27'$. Từ đó mặt phẳng xích đạo trời và mặt phẳng hoàng đạo nghiêng trên nhau một góc bằng $\varepsilon = 23^{o}27'$ (H. 43).

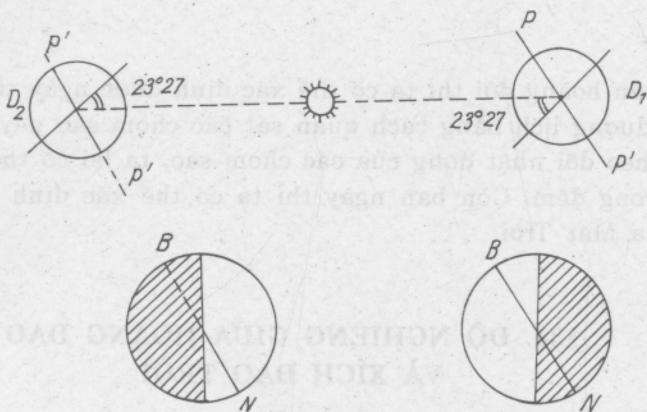


*Hình 43*

Trên hình 44 : $D_1$ và $D_2$ là hai vị trí của Trái Đất nằm đối tâm với Mặt Trời vào ngày Hạ chí và Đông chí. Đường $D_1 \odot D_2$ là mặt phẳng hoàng đạo (trong hình này mặt phẳng hoàng đạo

* Tên gọi theo truyền tích của phương Tây. Trong âm lịch ta đang dùng có tên gọi của 12 con vật khác. Xem phụ lục 4.

**. Thực ra nếu quan sát trong thời gian rất dài thì thiên cực có di chuyển do hiện tượng tiến động.




*Hình 44*

vuông góc với mặt giấy). Trục quay của Trái Đất PP' luôn song song với chính nó và nghiêng đối với mặt phẳng hoàng đạo một góc $66^{o}33'$. Khi Trái Đất ở vị trí $D_1$ Mặt Trời nằm ở nửa thiên cầu Bắc cách mặt phẳng xích đạo một góc $23^{o}27'$ nghĩa là Mặt Trời có xích vĩ $\delta = +23^{o}27'$, ở vị trí $D_2$ Mặt Trời có xích vĩ $\delta = -23^{o}27'$. Hình 43 biểu diễn hoàng đạo HH' và xích đạo trời XX' trên thiên cầu. Chúng nghiêng trên nhau một góc $\varepsilon = 23^{o}27'$ và cắt nhau tại 2 điểm $\gamma$ và $\Omega$. Điểm $\gamma$ được gọi là điểm xuân phân, điểm mà tại đó Mặt Trời đi qua từ nửa thiên cầu Nam lên nửa thiên cầu Bắc.

## §35. BIẾN ĐỔI MÙA TRÊN TRÁI ĐẤT

Qua các tiết §34 và §35 ta biết rằng hàng năm Mặt Trời chuyển động biểu kiến trên hoàng đạo HH' nên tọa độ xích đạo của nó biến thiên hàng năm (xích vĩ $\delta$ biến thiên từ $-23^{o}27'$ đến $+23^{o}27'$còn xích kinh $\alpha$ biến thiên từ 0 đến 24h). Vì xích vĩ biến thiên nên điểm mọc và lặn cũng như thời gian ở trên chân trời và lặn dưới chân trời hàng ngày của Mặt Trời biến thiên hay nói cách khác độ dài của ban ngày và ban đêm đối với các nơi trên Trái Đất thay đổi với chu kì 1 năm.

Bảng II ghi 4 vị trí đặc biệt của Mặt Trời trên hoàng đạo (mỗi vị trí có xích vĩ và xích kinh xác định, ứng với một ngày tháng nhất định của dương lịch...)

*Bảng II*

| Vị trí | Ngày | $\delta$ | $\alpha$ | Độ dài của ban ngày so với ban đêm |
|---|---|---|---|---|
| $\gamma$ (xuân phân) | 21–III | 0 | 0 | ngày = đêm |
| H (Hạ chí) | 22–VI | $+23°27'$ | 6h | ngày dài nhất trong năm |
| $\Omega$ (Thu phân) | 23–IX | 0 | 12h | ngày = đêm |
| (Đông chí) | 22–XII | $-23°27'$ | 18h | đêm dài nhất trong năm |

Cần chú ý thêm rằng vào ngày xuân phân và thu phân (ngày = đêm) thì cũng là thời kì thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền đến 2 nửa địa cầu ngang nhau. Trong nửa năm từ ngày xuân phân (qua Hạ chí) đến ngày thu phân Mặt Trời chếch về nửa thiên cầu Bắc (có $\delta > 0$) thì ngày dài hơn đêm và thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền phần nhiều đến nửa địa cầu Bắc và cực đại vào ngày Hạ chí. Trong nửa năm còn lại Mặt Trời nằm chếch về nửa thiên cầu Nam (có $\delta < 0$) thì ngày ngắn hơn đêm và thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền phần ít xuống nửa địa cầu Bắc và cực tiểu vào ngày Đông chí. Chính vì lẽ ấy mà thời tiết trên Trái Đất thay đổi với chu kì bằng 1 năm.* Người ta quy ước một năm có 4 mùa : Xuân, Hạ, Thu, Đông, Ở phương Tây thì khởi điểm của 4 mùa là 4 ngày chính trên. Còn theo phương Đông thì 4 ngày trên lại là 4 ngày chính giữa của 4 mùa và cụ thể là :

– *Mùa xuân :* Từ 5–11 (lập xuân) đến 6–V (lập hạ), giữa mùa xuân là ngày Xuân phân 21–III.

* Xét cho nửa địa cầu Bắc, còn ở nửa địa cầu Nam thì ngược lại.

– *Mùa hạ :* Từ 6–V (lập hạ) đến 8–XIII (lập thu), giữa mùa hạ là ngày Hạ chí 22–VI.

– *Mùa thu :* Từ 8–VIII (lập thu) đến ngày 8–XI (lập đông), giữa mùa thu là ngày Thu phân 23–IX.

– *Mùa đông :* từ 8–XI (lập đông) đến ngày 5–II (lập xuân) giữa mùa đông là ngày Đông chí 22–XII.

*Chú ý :* Ở nam địa cầu thì 4 mùa diễn ra theo thứ tự ngược lại. Chẳng hạn như khi ở Bắc bán cầu là mùa hạ thì ở Nam bán cầu lại là mùa đông.

Như vậy nguyên nhân có biến đổi mùa trên Trái Đất là do Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời và trục quay của nó không thẳng góc với mặt phẳng quỹ đạo và có phương không đổi trong không gian.

Rõ ràng chu kì biến đổi mùa bằng chu kì chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời, chính xác hơn nó bằng chu kì Mặt Trời trở lại điểm Xuân phân và bằng 365,2422 ngày.

## §36. NGÀY VÀ ĐÊM Ở NHỮNG NƠI CÓ VĨ ĐỘ ĐỊA LÍ KHÁC NHAU

Vì xích vĩ của Mặt Trời biến thiên trong năm và do đó độ cao của Mặt Trời lúc giữa trưa (lúc qua kinh tuyến trên) cũng như khoảng thời gian nó ở trên chân trời và lặn dưới chân trời biến thiên, hơn nữa còn phụ thuộc vào vĩ độ địa lí nên ngày đêm diễn ra trên Trái Đất không giống nhau.

– Ở địa cực Bắc ($\varphi = 90^o$) từ ngày xuân phân (21–III) đến ngày thu phân (23–IX) Mặt Trời có xích vĩ dương thỏa mãn điều kiện (4.4) nên không lặn. Suốt 6 tháng này là ban ngày. Từ lúc mọc đến lúc lặn (6 tháng), do nhật động mà Mặt Trời quay hơn 182 vòng (365 : 2) trên đường chân trời theo đường xoắn ốc. Vào ngày Hạ chí Mặt Trời (có $\delta = 23^o27'$) lên đến độ cao cực đại. Theo (4.5) thì vào ngày này độ cao của mặt Trời bằng $23^o27'$.

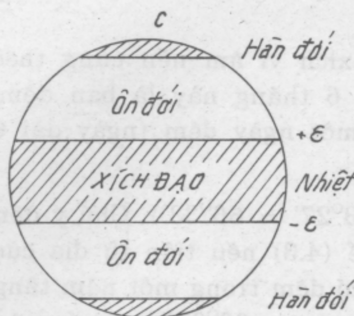
Còn 6 tháng kia vì Mặt Trời có xích vĩ âm nên cũng theo điều kiện (4.4) lại không mọc. Suốt 6 tháng này là ban đêm. Tóm lại ở địa cực một năm chỉ có một ngày đêm (ngày dài 6 tháng, đêm dài 6 tháng).

– Ở Bắc cực khuyên ($\varphi = 90^o - 23^o27' = 66^o33'$). Chú ý đến điều kiện mọc lặn của một thiên thể (4.3) nếu tiến từ địa cực Bắc đến Bắc cực khuyên thì số ngày có đêm trong một năm tăng lên dần. Rõ ràng đến Bắc cực khuyên ($\varphi = 66^o33'$) thì số ngày đêm đã đạt đến trị số cực đại (365 ngày đêm). Riêng ngày Hạ chí vì xích vĩ của Mặt Trời $\delta = +23^o27'$ thỏa mãn điều kiện không lặn ($\delta = 90^o - \varphi$) nên vòng nhật động của Mặt Trời tiếp xúc với đường chân trời. Còn những ngày trước và sau ngày Hạ chí thì Mặt Trời chỉ lặn một ít dưới chân trời và thực chất cũng chưa có đêm rõ rệt (thường gọi là đêm trắng – hoàng hôn tiếp giáp với bình minh).

– Ở Bắc chí tuyến ($\varphi = 23^o27'$), từ Bắc cực khuyên tiến về xích đạo thì trong năm đã có 365 ngày đêm rõ rệt. Nếu xét vị trí của Mặt Trời lúc giữa trưa (qua kinh tuyến trên) cho những nơi từ địa cực Bắc đến Bắc chí tuyến thì Mặt Trời luôn luôn ở phía Nam thiên đỉnh. Chỉ bắt đầu từ Bắc chí tuyến trở về xích đạo thì mới có ngày Mặt Trời qua thiên đỉnh Z (tròn bóng). Riêng ở Bắc chí tuyến thì trong năm chỉ có một ngày tròn bóng– đó là ngày Hạ chí, còn những nơi khác từ Bắc chí tuyến đến xích đạo thì trong một năm có 2 ngày tròn bóng. Chẳng hạn như ở Hà Nội có hai ngày tròn bóng là 27–V và 18–VII, nghĩa là vào những ngày xích vĩ Mặt Trời bằng vĩ độ địa lí của Hà Nội.

## §37. CÁC ĐỚI KHÍ HẬU

Do đặc điểm quan sát Mặt Trời ở những vĩ tuyến đặc biệt nói ở §37 và cũng từ đó có những đặc điểm khí hậu thời tiết khác nhau mà người ta đã chia mặt đất ra các đới khí hậu.




Hình 45

*Nhiệt đới* : vùng có vĩ độ từ $-23^o27'$ đến $+23^o27'$.

*Ôn đới* : vùng có vĩ độ $\pm 23^o27'$ đến $\pm 66^o33'$

*Hàn đới* : vùng có vĩ độ $\pm 66^o33'$ đến $\pm 90^o$

## §38. CƠ SỞ XÁC ĐỊNH THỜI GIAN

Để xác định các khoảng thời gian người ta phải chọn một đơn vị thời gian nào đó. Đơn vị thời gian này có thể tùy ý chọn sao cho thuận lợi nhất với đời sống. Người ta đã dựa vào chu kì nhật động của thiên cầu và chuyển động hàng năm của Mặt Trời tức là dựa vào sự quay của Trái Đất và sự chuyển động của nó quanh Mặt Trời.

Để xác định những khoảng thời gian dài người ta đã dựa vào đơn vị cơ sở : năm xuân phân. Năm xuân phân (cũng là chu kì 4 mùa) có độ dài bằng khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp Mặt Trời qua điểm xuân phân.

Đối với những khoảng thời gian ngắn, người ta dùng đơn vị cơ sở : ngày và ước số của nó (giờ, phút, giây).

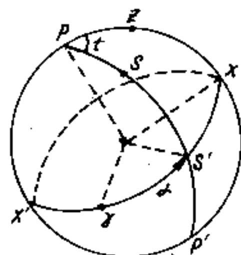
Để phục vụ cho những nhu cầu quan trắc khác nhau, trong thiên văn học người ta đã quy ước 3 loại ngày khác nhau : ngày Sao, ngày Mặt Trời thực, ngày Mặt Trời trung bình.

## §39. NGÀY SAO

Ngày sao dựa vào chu kì nhật động của các sao. Nó có độ dài bằng khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp điểm xuân phân qua kinh tuyến trên tại nơi quan sát (có độ kinh địa lí xác định).

Người ta quy ước ngày sao tại mỗi nơi bắt đầu (0h sao) lúc điểm xuân phân qua kinh tuyến trên tại nơi đó. Do nhật động, góc giờ (t) của điểm xuân phân tăng dần với nhịp độ đều. Khi điểm xuân phân nhật động được một vòng (trở lại kinh tuyến trên) thì một ngày sao (24h sao) đã trôi qua. Như vậy giờ sao trong ngày sao của một nơi có trị số bằng góc giờ của điểm xuân phân tại nơi đó. 1 ngày sao = 24h sao = 60 × 24 phút sao = 60 × 60 × 24s sao. Thực ra điểm xuân phân là một điểm trên thiên cầu không quan sát trực tiếp được. Trong thực hành người ta xác định giờ sao qua quan sát một ngôi sao cụ thể nào đó.

Trên hình 46, giờ sao (s) của nơi quan sát ứng với thiên đỉnh Z có trị số bằng cung $\gamma$ X.



*Hình 46*

Cung $\gamma X = \gamma S' + S'X$

$$s = \alpha + t \,, \qquad (5.1)$$

trong đó t là góc giờ và $\alpha$ là xích kinh của sao S.

Khi sao S qua kinh tuyến trên thì t = 0 và $s = \alpha$ (5.2)

Như vậy giờ sao tại một nơi ở một thời điểm nào đó có trị số bằng xích kinh của ngôi sao đi qua kinh tuyến trên tại nơi đó đúng vào thời điểm ấy.

Khái niệm ngày sao, giờ sao được sử dụng trong quan trắc thiên văn để xác định thời gian chính xác...

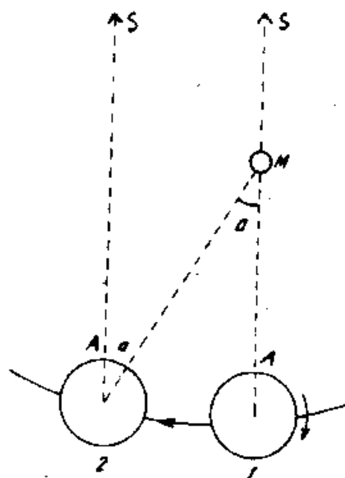
## §40. NGÀY MẶT TRỜI THỰC, NGÀY MẶT TRỜI TRUNG BÌNH

Ngày Mặt Trời thực dựa vào chu kì nhật động của Mặt Trời. Nó có độ dài bằng khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp Mặt Trời qua kinh tuyến trên tại nơi quan sát (có độ kinh địa lí xác định).

Người ta quy ước ngày Mặt Trời thực tại mỗi nơi bắt đầu ($0^h$) lúc Mặt Trời qua kinh tuyến dưới tại nơi đó (nửa đêm thực). Do nhật động, góc giờ của Mặt Trời thực biến thiên. Giờ Mặt Trời thực trong ngày được xác định qua góc giờ ($t_\odot$) của Mặt Trời. Vì góc giờ của Mặt Trời (cũng như của tất cả các thiên thể) được tính từ kinh tuyến trên nên giờ Mặt Trời thực $T_\odot$ của nơi quan sát là :

$$T_\odot = t_\odot + 12^h \tag{5.3}$$

Chẳng hạn khi Mặt Trời qua kinh tuyến trên (giữa trưa) thì $T_\odot = 0 + 12^h$. Khi Mặt Trời qua kinh tuyến dưới (nửa đêm) thì $T_\odot = 12^h + 12^h = 24^h$ hay $0^h$.



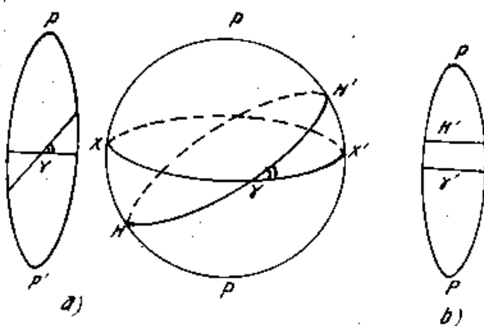
*Hình 47*

Cần chú ý rằng ngày Mặt Trời thực dài hơn ngày sao (vì các sao ở rất xa nên coi như nằm yên trên thiên cầu do đó ngày sao có độ dài bằng chu kì tự quay của Trái Đất). Còn ngày Mặt Trời dài hơn chu kì tự quay của Trái Đất. Quả vậy khi Trái Đất ở vị trí 1 (H. 47) thì người quan sát ở nơi A thấy Mặt Trời qua kinh tuyến trên (giữa trưa). Sau khi Trái Đất tự quay được một vòng thì nó đã chuyển động đến vị trí 2. Lúc này phương thẳng đứng ở nơi A đã trở lại song song với phương cũ ở vị trí 1 nghĩa là đã hướng đến ngôi sao cũ (kết thúc 1 ngày sao) nhưng Mặt Trời còn

đang ở phía Đông kinh tuyến trên một góc a. Rõ ràng Trái Đất phải quay thêm 1 góc lớn hơn a thì Mặt Trời mới trở lại kinh tuyến trên tức là mới kết thúc một ngày Mặt Trời.

Cần chú ý thêm rằng các ngày Mặt Trời thực trong một năm dài không bằng nhau do 2 nguyên nhân.

1. Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời với vận tốc không đều, do đó góc a mà Trái Đất phải quay thêm hàng ngày không bằng nhau (hay nói cách khác do Mặt Trời di chuyển trên nền trời sao với vận tốc không đều).



Hình 48

2. Mặt Trời di chuyển trên hoàng đạo, nghiêng với xích đạo trời một góc = 23°27'. Vì giờ Mặt Trời được tính theo góc giờ của nó, mà góc giờ lại được xác định qua cung trên xích đạo trời. Giả thử Mặt Trời có di chuyển đều trên hoàng đạo đi chăng nữa thì độ biến thiên góc giờ hàng ngày của Mặt Trời cũng không đều. Quả vậy ở quanh vùng điểm xuân phân $\gamma$ và thu phân $\Omega$ (H. 48.a) một cung trên hoàng đạo bao giờ cũng lớn hơn vết chiếu của nó lên xích đạo trời, ngược lại ở quanh vùng điểm Hạ chí và Đông chí thì nó lại bé hơn (H. 48.b)

Do 2 nguyên nhân trên mà ngày Mặt Trời thực có độ dài không bằng nhau, chẳng hạn như ngày 22 tháng XII dài hơn ngày 23 tháng IX đến 50 giây.

Việc quan sát Mặt Trời để xác định giờ Mặt Trời thực không phức tạp, nhưng vì các ngày Mặt Trời thực có độ dài không hoàn toàn bằng nhau nên ngày giờ Mặt Trời thực vẫn không được sử dụng để tính thời gian trong sinh hoạt bình thường.

Trong thực tế ta không thể chế tạo được đồng hồ chạy với vận tốc biến thiên khớp với sự biến thiên độ dài của các ngày

Mặt Trời thực (tuy là một việc làm không cần thiết). Các đồng hồ được chế tạo có nhịp chạy đều. Ta nói một ngày có 24 giờ, đó là ngày Mặt Trời trung bình. Độ dài của ngày Mặt Trời trung bình bằng độ dài bình quân của tất cả các ngày Mặt Trời thực trong một năm.

## §41. PHƯƠNG TRÌNH THỜI GIAN

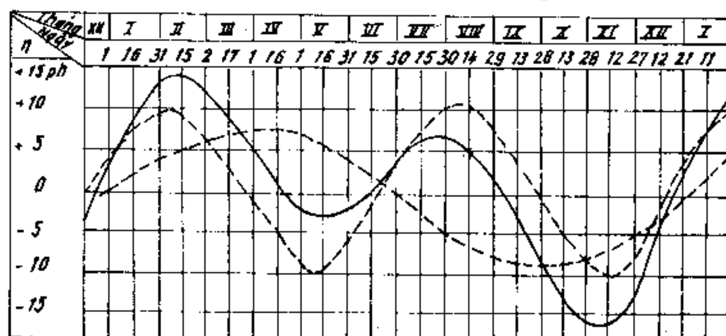
Hiệu số giữa giờ Mặt Trời trung bình ($T_m$) và giờ Mặt Trời thực ($T_{\Theta}$) tính ở một thời điểm nào đó gọi là phương trình thời gian :

$$\eta = T_m - T_{\Theta} \qquad (5.4)$$

$$\text{hay} \quad T_m = \eta + T_{\Theta}.$$

Giá trị của phương trình thời gian $\eta$ hàng ngày được in trong các lịch thiên văn hàng năm. Như vậy bằng quan sát góc giờ của Mặt Trời ta được giờ Mặt Trời thực $T_O$ và cộng thêm trị số của $\eta$ tính ở thời điểm quan sát ta sẽ được giờ Mặt Trời trung bình $T_m$.

Đồ thị biểu diễn phương trình thời gian là đường nét đậm trên hình 49. Nó là đường tổng hợp của 2 đường hình sin. Đường hình sin có chu kì 1 năm biểu thị nguyên nhân Mặt Trời chuyển động nhìn thấy hàng năm với vận tốc không đều, còn đường




*Hình 49* – Đồ thị phương trình thời gian.

hình sin có chu kì $\frac{1}{2}$ năm biểu thị nguyên nhân Mặt Trời di chuyển trên hoàng đạo nghiêng với xích đạo trời.

Phương trình thời gian có giá trị bằng không vào các ngày 15–IV, 14–VI, 1–IX, 24–XII và đạt giá trị giới hạn vào ngày 11–II ($\eta = +14^{ph}$) và ngày 2–XI ($\eta = -16^{ph}$).

## §42. SO SÁNH THỜI GIAN MẶT TRỜI TRUNG BÌNH VỚI THỜI GIAN SAO

Qua nhiều năm quan sát, người ta tính được mỗi năm xuân phân có 365,2422 ngày Mặt Trời trung bình. Từ hình 43 ta có thể rút ra kết luận trong mỗi năm xuân phân số ngày sao phải nhiều hơn số ngày Mặt Trời 1 ngày tức là mỗi năm xuân phân có 366,2422 ngày sao.

Quả vậy, giả thử khi Trái Đất ở vị trí 1 thì người quan sát tại A thấy Mặt Trời và điểm xuân phân đều ở kinh tuyến trên. Sau một ngày sao (Trái Đất quay đúng 1 vòng). Trái Đất di chuyển đến vị trí 2 thì người quan sát đã thấy điểm xuân phân trở lại kinh tuyến trên nhưng thấy Mặt Trời còn ở phía Đông kinh tuyến trên này một góc gần $1^{o}$ ($360^{o}$ : 365,2422). Mặt Trời sẽ qua kinh tuyến trên sau khi Trái Đất quay thêm một góc gần $1^{o}$, tức là sau khoảng 4 phút (chính xác hơn là $3^{ph}56''$). Như vậy ngày sao ngắn hơn ngày Mặt Trời khoảng 4 phút.

Ta đã thấy được rằng sau mỗi ngày Mặt Trời thì Trái Đất đã quay hơn 1 vòng (hơn gần $1^{o}$). Khi Trái Đất trở lại vị trí 1 thì Mặt Trời và điểm xuân phân đều trở lại kinh tuyến trên. Một năm xuân phân đã trôi qua tức là 365,2422 ngày Mặt Trời đã trôi qua. Rõ ràng khi Trái Đất trở lại đúng vị trí 1 thì Trái Đất đã quay hơn đúng một vòng tức là thêm được 1 ngày sao. Như vậy trong một năm xuân phân có 365,2422 ngày Mặt Trời thực

(cũng là 365,2422 ngày Mặt Trời trung bình) hoặc có 366,2422 ngày sao. Nếu xét về độ dài thì :

$$265{,}2422 \text{ ngày M.T.T.B} = 366{,}2422 \text{ ngày sao}$$

$$1 \text{ ngày M.T.T.B} = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} \text{ ngày sao}$$

$$\text{hay} \quad 1 \text{ ngày sao} = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} \text{ ngày M.T.T.B.}$$

Trong thiên văn thực hành thường phải đổi giờ Mặt Trời sang giờ sao và ngược lại. Để thuận tiện cho việc đổi này người ta sử dụng hai hệ số :

$$\text{Hệ số K} = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} = 1{,}002738 \qquad (5.5)$$

dùng để chuyển khoảng thời gian được xác định theo giờ M.T.T.B sang giờ sao.

Còn hệ số :

$$K' = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} = 0{,}997270 \qquad (5.6)$$

dùng để chuyển khoảng thời gian được xác định theo giờ sao sang giờ M.T.T. B.

Như vậy nếu một khoảng thời gian nào đó được xác định qua đơn vị thời gian M.T.T. B là $\Delta T_m$ và qua đơn vị thời gian sao là $\Delta S$ thì :

$$\Delta S = K\Delta T_m$$

$$\Delta T_m = K'\Delta S \qquad (5.7)$$

và từ đó ta có :

$24^h$M.T.T.B = $24^h03^{ph}56^s{,}555$ sao

$1^h$ M.T.T.B = $1^h00^{ph}09^s{,}856$ sao

$1^{ph}$ – = 01 00, 164 –

$1^s$ – = 01 , 003 –

$24^h$ sao = $23^h56^{ph}04^s$, 091 M.T.T.B

$1^h$ – = 59 50 , 170 –

1 ph – = 59 , 836 –
$1^s$ – = 0,997 –

Đối với những trường hợp chỉ cần tính gần đúng, người ta thường coi ngày M. T.T.B dài hơn ngày sao 4 phút (hay ngày sao ngắn hơn ngày Mặt Trời 4 phút), và từ đó mỗi giờ M.T.T.B dài hơn giờ sao 10 giây.

## §43. CÁC HỆ TÍNH THỜI GIAN

Khi sử dụng ba thang thời gian đã khảo sát ở trên cần chú ý các hệ tính thời gian sau :

### 1. Giờ địa phương và kinh độ địa lí

Giờ được xác định cho một nơi (có kinh độ xác định) được gọi là *giờ địa phương* của nơi đó. Đối với các nơi nằm trên cùng một kinh tuyến (cùng kinh độ $\lambda$) thì góc giờ của Mặt Trời (hay góc giờ của điểm xuân phân) có giá trị như nhau. Từ đó tại mỗi thời điểm vật lí các nơi cùng nằm trên một kinh tuyến đều có giờ địa phương (giờ Mặt Trời địa phương hay giờ sao địa phương) như nhau.

Nếu hai nơi khác nhau có hiệu kinh độ $\Delta\lambda$ thì góc giờ của một thiên thể nào đó quan sát tại hai nơi ấy tại cùng một thời điểm vật lí cũng khác nhau $\Delta t = \Delta\lambda$.

Như vậy : Tại một thời điểm vật lí, hiệu giờ địa phương của hai nơi bằng hiệu kinh độ của hai nơi đó (tính theo đơn vị thời gian).

$$S_1 - S_2 = \lambda_1 - \lambda_2$$
$$T_{\odot 1} - T_{\odot 2} = \lambda_1 - \lambda_2 \qquad (5.8)$$
$$T_{m1} - T_{m2} = \lambda_1 - \lambda_2$$

trong đó $S_1 - S_2$ là hiệu giờ sao địa phương. $T_{\odot 1} - T_{\odot 2}$ là hiệu giờ Mặt Trời thực địa phương, $T_{m1} - T_{m2}$ là hiệu giờ Mặt Trời trung bình địa phương.

Ví dụ Hà Nội có $\lambda_{HN} = 105^o52'$, Hải Phòng có $\lambda_{HP} = 106^o43'$ thì giờ địa phương ở Hải Phòng lớn hơn ở Hà Nội là :

$$T_{mHP} - T_{mHN} = \lambda_{HP} - \lambda_{HN}$$
$$= 106^o43' - 105^o52'$$
$$= 51' = 3^{ph}24^s$$

Rõ ràng giờ địa phương chỉ có ý nghĩa trong quan trắc thiên văn (Chẳng hạn như để xác định độ kinh địa lí) chứ không sử dụng trong đời sống bình thường.

**2. Giờ múi. Giờ quốc tế**

Trong đời sống bình thường người ta dùng giờ múi. Giờ múi lấy theo thang thời gian Mặt Trời trung bình với quy ước cụ thể như sau ;

Mặt Đất được chia thành 24 múi giới hạn bởi 24 kinh tuyến nằm cách đều nhau (cách nhau $15^o$ hay $1^h$). Các địa phương nằm trong mỗi múi dùng thống nhất một giờ (H. 50). *Giờ múi là giờ Mặt Trời trung bình địa phương của kinh tuyến chính giữa múi đó.* Dễ dàng thấy rằng hai múi liên tiếp nhau có giờ múi khác nhau 1 giờ. Các múi được đánh số từ 0 đến 23. Múi số 0 là múi mà kinh tuyến giữa của nó đi qua đài thiên văn Grinuych. Các múi tiếp theo được đánh số theo chiều quay của Trái Đất (H. 50).

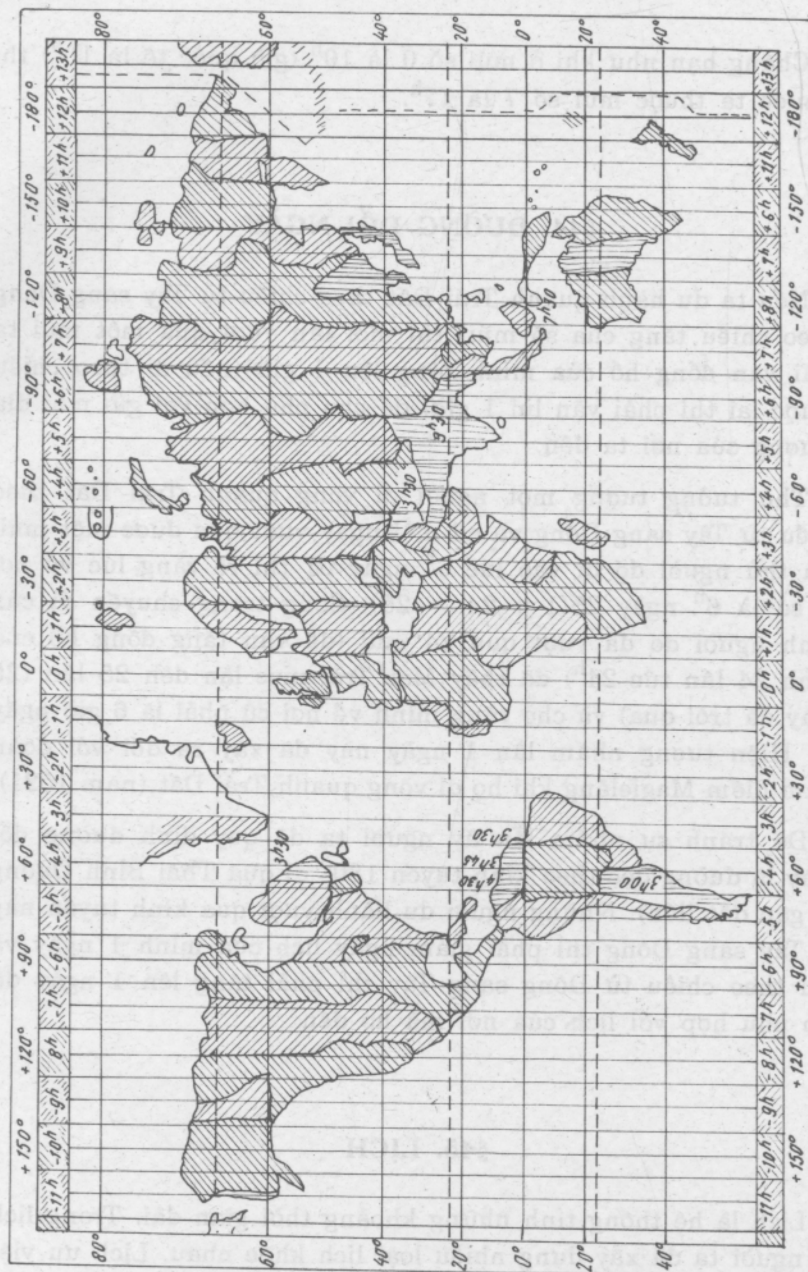
Như vậy tại cùng một thời điểm vật lí các nước nằm trong các múi khác nhau có giờ địa phương khác nhau. Để thống nhất giờ giao dịch cho các nước trên toàn thế giới, năm 1884 Hội đo lường quốc tế đã nhất trí lấy giờ múi số 0 làm giờ chung và được gọi là giờ quốc tế $T_o$.*

Rõ ràng tại cùng một thời điểm vật lí nếu giờ quốc tế là $T_o$ thì giờ ở múi số M sẽ là :

$$T_M = T_o + M$$

---

*. Giờ quốc tế $T_o$ được gọi là giờ GMT (GMT là 3 chữ cái đầu của 3 từ Greenwich Meridian Time có nghĩa là giờ ở kinh tuyến Grinuych).




*Hình 50*

Chẳng hạn như khi ở múi số 0 là $10^h$ (giờ quốc tế là $10^h$) thì ở nước ta thuộc múi số 7 là $17^h$.

## §44. ĐƯỜNG ĐỔI NGÀY

Nếu ta du hành quanh Trái Đất theo chiều từ Tây sang Đông (theo chiều tăng của số múi) thì mỗi lần vượt qua một múi ta phải vặn đồng hồ của mình tăng lên 1 giờ (nếu đi theo chiều ngược lại thì phải vặn lùi 1 giờ) để cho phù hợp với giờ múi địa phương của nơi ta đến.

Thử tưởng tượng một người đi vòng quanh Trái Đất theo chiều từ Tây sang Đông và cứ mỗi ngày vượt qua được một múi. Giả thử người đó đi vào lúc $6^h$ ngày 01 thì rõ ràng lúc về nơi cũ sẽ là $6^h$ ngày 25($1 + 24 = 25$). Song trong chuyến đi của mình người đó đã vượt qua 24 múi (đã vặn tăng đồng hồ của mình 24 lần tức $24^h$) đã thấy Mặt Trời mọc lặn đến 25 lần (25 ngày đã trôi qua) và cho rằng mình về nơi cũ phải là 6 giờ ngày 26. Hiện tượng nhầm lẫn 1 ngày này đã xảy ra đối với đoàn thám hiểm Magielăng khi họ đi vòng quanh Trái Đất (năm 1521).

Để tránh sự nhầm lẫn ấy người ta đã quy định đường đổi ngày là đường dọc theo kinh tuyến $180^o$ đi qua Thái Bình Dương (ít gặp đất liền). Những người du hành vượt qua kinh tuyến này từ Tây sang Đông thì phải giảm ngày lịch của mình 1 ngày và nếu theo chiều từ Đông sang Tây thì phải tăng lên 1 ngày để cho phù hợp với lịch của nơi mà họ đến.

## §45. LỊCH

Lịch là hệ thống tính những khoảng thời gian dài. Trong lịch sử người ta đã xây dựng nhiều loại lịch khác nhau. Lịch ưu việt nhất được dùng chung trên toàn thế giới là dương lịch.

## 1. Dương lịch

Cơ sở xây dựng năm dương lịch là độ dài của năm xuân phân (hay chu kì 4 mùa). Như đã biết năm xuân phân dài 365,2422 ngày nhưng năm lịch phải chứa số nguyên ngày. Để phù hợp với 4 mùa thì bình quân năm lịch trong một khoảng thời gian nào đó phải có trị số gần nhất với độ dài của năm xuân phân. Vì vậy người ta phải quy ước thêm năm nhuận (năm thường có 365 ngày, năm có 366 ngày).

+ Dương lịch cũ (lịch Julius) được xây dựng 46 năm trước Công nguyên với luật nhuận sau :

Năm nhuận là những năm mà con số của năm đó chia tròn cho 4.

Như vậy theo lịch Julius thì cứ 4 năm có 1 năm nhuận và bình quân năm lịch dài :

$$N_t = \frac{365 + 365 + 365 + 366}{4} = 365{,}25 \text{ ngày}$$

sai với năm Xuân phân 0,0078 ngày. Ta dễ dàng thấy rằng cứ 400 năm lịch Julius thì sai với 400 năm Xuân phân gần 3 ngày.

+ Dương lịch mới (lịch Gregôrius). Nhằm khắc phục nhược điểm trên của dương lịch cũ, năm 1582 người ta đã cải tiến nó và được gọi là Dương lịch mới (Dương lịch hiện dùng).

Dương lịch mới khác Dương lịch cũ ở chỗ có quy luật nhuận mới làm cho bình quân năm lịch gần với năm xuân phân hơn. Luật nhuận là : Năm nhuận là những năm mà con số của năm đó chia tròn cho 4, trừ những năm chứa số nguyên thế kỉ mà con số thế kỉ đó không chia tròn cho 4.

Ví dụ trong số các năm dưới đây thì các năm in chữ nghiêng tuy chia tròn cho 4, nhưng vì con số thế kỉ không chia tròn cho 4 nên là những năm thường.

1600 *1700 1800 1900* 2000 *2100 2200 2300* 2400

Theo luật nhuận này thì cứ 400 năm có 97 năm nhuận, còn theo Dương lịch cũ thì có 100 năm nhuận. Bình quân năm Dương

lịch mới dài 365,2425 ngày tức là chỉ còn sai với năm Xuân phân 0,0003 ngày (hay cứ 3300 năm thì sai 1 ngày). Ngoài ra khi chuyển từ Dương lịch cũ sang Dương lịch mới thì người ta đã tăng lên 10 ngày với dụng ý giữ được quy ước là ngày 21-III phải là ngày Mặt Trời qua điểm xuân phân (năm 1582 Mặt Trời qua điểm xuân phân vào ngày 11-III theo Dương lịch cũ).

Cần biết thêm rằng, Dương lịch mới không phải đã được tất cả các nước hưởng ứng ngay từ năm 1582. Chẳng hạn như nước Nga Sa hoàng vẫn bảo thủ lịch cũ. Sau Cách mạng tháng Mười (1917) chính quyền Xô Viết mới ra sắc lệnh bãi bỏ Dương lịch cũ và sử dụng Dương lịch mới. Đến đây ta biết được lí do lễ kỉ niệm gọi là Cách mạng tháng Mười đã được tổ chức vào ngày 7 tháng mười một.

## 2. Âm lịch

Theo lịch sử thì âm lịch được xây dựng rất sớm (trước DL). Âm lịch đã lấy độ dài của tuần trăng (29,53 ngày) làm cơ sở cho tháng. Dĩ nhiên là tháng lịch phải chứa số nguyên ngày và để phù hợp với tuần trăng nên tháng hoặc có 29 ngày hoặc 30 ngày sao cho độ dài bình quân của tháng lịch có trị số gần nhất với chu kì của tuần trăng. Vì năm được quy ước 12 tháng nên năm hoặc có 354 ngày hoặc 355 ngày.

Như vậy năm âm lịch ngắn hơn năm xuân phân trên 10 ngày. Cứ 3 năm âm lịch thì sai với chu kì 4 mùa hơn 1 tháng, cứ 9 năm thì hơn 3 tháng... Rõ ràng năm âm lịch chỉ có khả năng tính thời gian chứ không phản ảnh được thời tiết.

## 3. Âm dương lịch *

Về sau người ta đã đưa năm nhuận vào để bình quân năm lịch có độ dài phù hợp với chu kì 4 mùa. Cứ 19 năm âm lịch có 7 năm nhuận, năm nhuận có 13 tháng :

* Xem phụ lục 4

19 năm X.P = 365,2422 × 19 = 6939,60 ngày

19 năm ÂDL = (19 × 12) + 7 = 235 tháng
= 29,53 × 235 = 6939,55 ngày

Với luật nhuận trên, nếu tính cho 19 năm lịch thì độ dài bình quân của năm lịch khá phù hợp với độ dài của năm* xuân phân nhưng nếu xét từng năm ÂDL thì lệch nhau khá lớn (năm thường có 354 - 355 ngày, năm nhuận có 384 - 385 ngày).

Ta thấy rằng ÂDL là loại lịch vừa lấy cơ sở của tuần trăng để xây dựng tháng và vừa lấy chu kì 4 mùa để xây dựng năm. Âm lịch hiện còn phổ biến ở nước ta chính là một loại âm dương lịch.

So với Dương lịch thì ÂDL có 2 nhược điểm lớn sau :

– Từng năm ÂDL không phù hợp với chu kì 4 mùa (không thuận tiện cho việc chỉ đạo sản xuất nông nghiệp và chăn nuôi).

– Năm thường có 12 tháng, năm nhuận có 13 tháng. Rõ ràng độ dài khác nhau của năm ÂDL gây phức tạp cho việc lập kế hoạch hàng năm của các nhà nước.

Chính vì lẽ đó mà Dương lịch đã được nước ta cũng như tất cả các nước khác quyết định lấy làm công lịch cho nhà nước mình.

### 4. Về vấn đề cải tiến dương lịch

So với Âm lịch và Âm Dương lịch thì Dương lịch có ưu điểm rất cơ bản. Song Dương lịch còn bộc lộ một số nhược điểm, nổi bật nhất là phân bố số ngày cho các tháng không đều (31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31). Cách phân bố tùy tiện đó chỉ mang tính chất lịch sử tôn giáo.

Người ta đã nghiên cứu và công bố một số phương án cải tiến. Mọi phương án được gọi là cải tiến nếu như nó loại bỏ được những nhược điểm hiện có, tức là có được sự phân bố hợp lí số ngày trong các tháng và bình quân năm lịch đúng bằng chu kì 4 mùa*.

---

* Xem phụ lục 3.

## BÀI TẬP CHƯƠNG V

1. Nhận dạng 12 chòm sao trên hoàng đạo. Từ đó nêu phương pháp xác định ngày tháng trong năm bằng quan sát các chòm sao này.

2. Tính độ cao và độ phương của Mặt Trời lúc giữa trưa tại Hà Nội ($\varphi = 21^{o}$) vào các ngày xuân phân, hạ chí, thu phân, đông chí.

3. Hãy biểu diễn quỹ đạo biểu kiến của Mặt Trời trên thiên cầu trong một năm (Tổng hợp nhật động và chuyển động hàng năm trên hoàng đạo).

4. Vào ngày 1-1-1980, xích vĩ của Mặt Trời là $-23^{o}05'$ phương trình thời gian là 3 phút. Lúc mặt Trời qua kinh tuyến trên tại Vinh ($\varphi = 18^{o}32'$, $\lambda = 105^{o}40'$) một đồng hồ đeo tay chỉ $12^{h}05^{ph}$. Hỏi

a) Giờ trung bình địa phương ?

b) Đồng hồ đeo tay chạy nhanh hay chậm ?

c) Giờ quốc tế lúc ấy ?

c) Độ cao và độ phương của Mặt Trời lúc ấy ?

5. a) Ví dụ : Tính giờ sao tại Hà Nội ($\lambda = 105^{o}52'$) lúc $20^{h}45^{ph}$ ngày 1-1-1980 ?

*Giải :* theo lịch thiên văn giờ sao lúc $0^{h}$ quốc tế ngày 1-1-1980 tại Grinuych là $S_o = 6^{h}30^{ph}15^{s}25$. Hiệu chỉnh đối với Hà Nội có kinh độ $\lambda$ (sau khi đổi đơn vị độ ra giờ là : $\lambda^{h}$ $(-9^{s}856) = -1^{ph}09^{s}50$. Vậy giờ sao lại Hà Nội lúc $0^{h}$ ngày 1-1-1980 là :

$$S_{OH} = S_o - 1^{ph}09^{s}50 = 6^{h}29^{ph}05^{s}75$$

Thời gian từ $0^{h}$ đến lúc quan sát : $\Delta T = T = 20^{h}45^{ph}$ khoảng thời gian này đổi ra thời gian sao bằng $\Delta S = KT$

$$\Delta S = K\Delta T = 20^{h}48^{ph}21^{s}58$$

Thời gian sao tại Hà Nội lúc $20^{h}45^{ph}$ ngày 1-1-1980 là

$$S = S_{OH} + \Delta S = 27^{h}33^{ph}27^{s}33$$

$$\text{hay} \quad S = 3^{h}33^{ph}27^{s}33$$

b) Bài tập áp dụng : Tính giờ sao tại một nơi có kinh độ là $106^{o}40'$ vào lúc $17^{h}30^{ph}$. Ngay hôm đó giờ sao lúc $0^{h}$ ở Grinuych là $S_o = 12^{h}14^{ph}32$.

6. Biết điểm Xuân phân qua kinh tuyến trên lúc $0^{h}$ ngày thu phân. Hỏi vào khoảng ngày nào thì sao Thiên Lang có xích kinh $6^{h}42^{ph}$ cũng qua kinh tuyến trên lúc $0^{h}$.

7. Tính gần đúng giờ sao vào hồi $18^h$ ngày 30–IX. Cần nhớ : điểm Xuân phân qua kinh tuyến trên tại mỗi nơi (nghĩa là $0^h$ sao) vào lúc $0^h$ ngày thu phân (22–IX) và cứ mỗi ngày giờ sao vượt giờ thường 4 phút).

8. A và B đang quan sát tại nơi có độ kinh $106^o$Đ. Khi Mặt Trời qua kinh tuyến trên thì đồng hồ đeo tay của A là $12^h$, đồng hồ của B là $12^h2^{ph}$, A khẳng định đồng hồ của B đã chạy nhanh. Bạn hãy cho kết luận. Biết phương trình thời gian vào ngày quan sát đó bằng +6 phút.

9. Có một đoạn nhật kí như sau :

"Độ cao sao Bắc cực
Hai mốt độ ba ba
Giữa trưa hướng về Bắc
Bóng dài bằng thân ta".

Hãy xác định nơi (vĩ độ $\varphi$) và ngày tháng mà nhà quan sát đã ghi đoạn nhật kí trên.

# *Chương VI*

# LƯỢNG GIÁC CẦU VÀ ỨNG DỤNG

Trong nhiều phép tính và quan trắc thiên văn người ta phải xác định vị trí cụ thể của các thiên thể và khoảng cách giữa chúng trên thiên cầu cũng như tọa độ các điểm trên mặt đất. Để phục vụ cho mục tiêu đó trước hết phải biết công thức liên hệ giữa các yếu tố (góc và cạnh) của tam giác cầu. Chương này giới thiệu một số công thức cơ bản về lượng giác cầu và những ứng dụng trong thiên văn học.

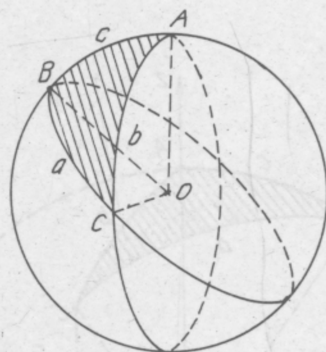
## §46. TAM GIÁC CẦU VÀ NHỮNG CÔNG THỨC CƠ BẢN

Tam giác cầu là hình tam giác trên một mặt cầu có 3 cạnh là 3 cung của 3 vòng tròn lớn (mặt phẳng chứa vòng tròn lớn phải qua tâm mặt cầu).

Nếu mặt cầu là thiên cầu thì tâm của các vòng tròn lớn là nơi quan sát. Hình 51 là một mặt cầu tâm 0. ABC là tam giác cầu có 3 đỉnh là A, B, C và 3 cạnh tương ứng là a, b, c. Góc ở đỉnh là góc giữa hai mặt phẳng chứa hai đường tròn lớn (chứa hai cạnh của tam giác cầu). Nó cũng bằng góc giữa hai tiếp tuyến với hai cạnh tại đỉnh đó. Cạnh của tam giác cầu cũng được tính bằng đơn vị góc và bằng góc ở tâm chắn cạnh đó.

Để thành lập các công thức liên hệ giữa các cạnh và góc, ta lấy gốc hệ tọa độ vuông góc ở tâm O của mặt cầu có bán kính bằng đơn vị, trục

OZ đi qua một đỉnh của tam giác cầu, ví dụ đỉnh A (H. 52) mặt phẳng ZOY là mặt phẳng chứa cạnh BA.C' là hình chiếu của đỉnh C lên mặt phẳng XOY và hình chiếu của C' lên các trục OX và OY là C'' và C'''. Từ hình vẽ ta thấy góc COC' = $90^o$ – b. là góc phụ với góc AOC = b. Vì cạnh AB nằm trong mặt phẳng ZOY nên mặt phẳng C'OAC tạo với mặt phẳng OAB góc A và tạo với mặt phẳng XOZ góc C''OC' = A – $90^o$. Đường OC' tạo với hướng dương của trục OY góc C'OY bằng $180^o$ – A.



*Hình 51*

Từ đó tọa độ của điểm C trên mặt cầu có bán kính bằng đơn vị là :

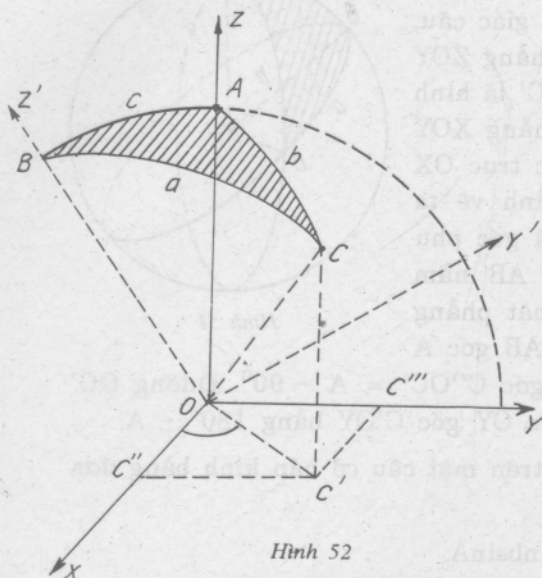
$$x = \sin b \sin A,$$
$$y = -\sin b \cos A, \qquad (6.a)$$
$$z = \cos b.$$

Bây giờ quay hệ XYZ quanh trục OX một góc AOB = C để cho trục OZ' của hệ mới đi qua điểm B. Trong hệ mới XY'Z', đường OC tạo với mặt phẳng XOY' một góc bằng $90^o$ – a, mặt phẳng OCB tạo với các mặt phẳng Z'OX và Z'OY' các góc tương ứng là $90^o$ – B và B, vì vậy tọa độ của điểm C trong hệ mới sẽ là :

$$x' = \sin a \sin B,$$
$$y' = \sin a \cos B, \qquad (6.b)$$
$$z' = \cos a.$$

Như đã biết trong hình học giải tích, khi quay hệ XYZ quanh trục OX một góc C ta có các hệ thức biến đổi tọa độ như sau :

$$x' = x,$$
$$y' = z\sin c - y\cos c \qquad (6.c)$$
$$z' = z\cos c - y\sin c.$$




Hình 52

Thay các giá trị ở (6.a) và (6.b) vào (6.c) ta có hệ ba công thức :

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B}$$

sina cosB = cosb.sinc − sinb.cosc.cosA

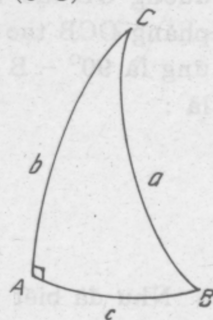
cosa = cosb.cosc + + sinb.sinc.cosA.

Việc kí hiệu các góc và các cạnh là tùy ý nên có ba nhóm công thức:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b.\cos c + \sin b.\sin c.\cos A \\ \cos b &= \cos c.\cos a + \sin c.\sin a.\cos B \qquad (6\text{–}2) \\ \cos c &= \cos a.\cos b + \sin b.\sin c.\cos C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin a\cos B &= \cos b.\sin c - \sin b.\cos c.\cos A \\ \sin b\cos C &= \cos c.\sin a - \sin c.\cos a.\cos B \quad (6\text{–}3) \\ \sin c\cos A &= \cos a.\sin b - \sin a.\cos b.\cos C \end{aligned}$$




Hình 53

Trường hợp tam giác có một góc vuông hoặc một cạnh bằng 90° thì các công thức trên sẽ đơn giản hơn. Ví dụ A = 90° (H. 53) thì cosA = 0, sinA = 1, ta sẽ có : sinacosB = = cosb.sinc. Sau khi chia hai vế cho sinb rồi thay :

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B} = \frac{1}{\sin B}$$

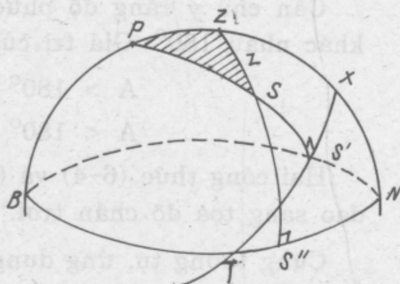
Ta sẽ có : cotgB = cotgbsinc,

hay tgb = sinctgB.

Như vậy trong một tam giác cầu vuông, tang của một cạnh vuông bằng sin của cạnh vuông kia nhân với tang của góc đối.

## §47. ỨNG DỤNG LƯỢNG GIÁC CẦU ĐỂ LẬP CÔNG THỨC CHUYỂN HỆ TỌA ĐỘ

Trong lịch thiên văn có ghi tọa độ xích đạo ( $\alpha$, $\delta$) của nhiều loại thiên thể. Muốn quan sát các thiên thể này ta phải biết được tọa độ chân trời của chúng tức là trước hết ta cần phải chuyển tọa độ xích đạo sang tọa độ chân trời (A, h) hay (A, z). Muốn vậy ta hãy chú ý đến một tam giác cầu được gọi là tam giác định vị mà ba đỉnh là thiên cực P, thiên đỉnh Z và thiên thể S (H.54).



*Hình 54*

Từ hình vẽ ta có :

$$PZ = 90^o - ZX = 90^o - \varphi$$

$$PS = 90^o - SS' = 90^o - \delta$$

$$ZS = 90^o - SS'' = z$$

góc P = t (góc giờ của thiên thể S), góc Z = $180^o$ - A (A là độ phương của thiên thể S).

Ứng dụng công thức (6–2) vào tam giác PZS ta có :

$$\cos Z = \sin\varphi.\sin\delta + \cos\varphi.\cos\delta.\cos t \qquad (6\text{–}4)$$

Ứng dụng các công thức (6–1) và (6–3) vào tam giác PZS ta có :

$$\sin z \sin A = \cos\delta \sin t,$$

$$\sin z \cos A = -\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi \cos\delta \cos t$$

Từ hai phương trình này ta có :

$$\text{tg } A = \frac{\cos\delta \sin t}{-\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi\cos\delta\cos t} \qquad (6\text{–}5)$$

trong đó góc giờ $t = s - \alpha$

$\alpha$ là xích kinh của thiên thể ta quan sát và s là giờ sao ở thời điểm ta quan sát. Thông thường ta chỉ biết giờ Mặt Trời

trung bình nên phải chuyển giờ Mặt Trời trung bình ra giờ sao để tính góc giờ t.

Cần chú ý rằng độ phương A tính theo (6–5) có hai giá trị khác nhau $180^o$. Giá trị của A được xác định như sau :

$$A > 180^o \text{ nếu } t > 12^h$$

$$A < 180^o \text{ nếu } t < 12^h$$

Hai công thức (6–4) và (6–5) cho phép ta chuyển tọa độ xích đạo sang tọa độ chân trời.

Cũng tương tự, ứng dụng các công thức (6–1), (6–2) và (6–3) vào tạm giác định vị theo thứ tự cạnh thứ nhất là $90^o - \delta$ cạnh thứ hai là $90^o - \varphi$, cạnh thứ ba là z, ta sẽ thu được các công thức để chuyển các tọa độ chân trời sang các tọa độ xích đạo như sau :

$$\sin\delta = \sin\varphi \cos z - \cos\varphi \sin z \cos A,$$

$$\cos\delta \sin t = \sin z \sin A.$$

$$\cos\delta \cos t = \cos\varphi \cos z + \sin\varphi \sin z \cos A.$$

Vì các tọa độ chân trời phụ thuộc vào địa phương và thời điểm quan sát nên các công thức này cho phép chuyển sang tọa độ xích đạo, tọa độ sử dụng chung cho mọi địa phương ở mọi thời điểm.

## §48. TÍNH THỜI ĐIỂM MỌC (LẶN) VÀ VỊ TRÍ MỌC (LẶN) CỦA CÁC THIÊN THỂ

Trong thực tế nhiều khi ta cần biết thời điểm và vị trí mọc (lặn) của các thiên thể, chẳng hạn như Mặt Trời và Mặt Trăng.

Rõ ràng khi mọc (lặn) thì thiên thể có độ cao h = 0 hay khoảng cách đỉnh $Z = 90^o$.

Từ (6–4) ta có :

$$0 = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t$$

Do đó : $\cos t = -\mathrm{tg}\varphi\mathrm{tg}\delta$. (6–7)

Từ (6–7) ta tính được góc giờ t của thiên thể khi mọc (lặn). Biết góc giờ t ta có thể tính giờ sao qua xích kinh $\alpha$ của thiên thể đó :

$$s = \alpha \pm t.$$

Biết giờ sao ta sẽ tính được giờ thường. Trong công thức $s = \alpha \pm t$, dấu (+) tính cho thời điểm lặn và (–) tính cho thời điểm mọc (theo quy ước về dấu của góc giờ t).

Để xác định vị trí mọc (lặn) ta vận dụng công thức loại (6–2) vào tam giác định vị PZS và có :

$$\sin\delta = -\cos\varphi\cos A$$

$$\text{hay} \quad \cos A = \frac{-\sin\delta}{\cos\varphi} \qquad (6\text{–}8)$$

Ta thu được 2 trị số của A (±A). Dấu (+) ứng với nơi lặn, dấu (–) ứng với nơi mọc (theo quy ước về chiều tính độ phương A).

Từ (6–7) và (6–8) ta thấy :

– Thời điểm và vị trí mọc (lặn) của các thiên thể phụ thuộc vào nơi quan sát và xích vĩ của thiên thể. Chẳng hạn như đối với Mặt Trời, vì xích vĩ của nó biến thiên trong năm nên điểm mọc (lặn) cũng như độ dài của ban ngày so với ban đêm xét cho từng nơi nhất định trên Trái Đất điều biến thiên với chu kì là 1 năm.

– Hai công thức (6–7) và (6–8) cũng có thể viết :

$$\cos t = \frac{\mathrm{tg}\delta}{\mathrm{tg}(90^o - \varphi)}$$

$$\cos A = \frac{\sin\delta}{\sin(90^o - \varphi)}$$

Vì cos của một góc không thể lớn hơn đơn vị nên phải có :

$$|\delta| \leqslant 90^o - \varphi$$

Đây là công thức (3.3) mà ta đã xây dựng khi tìm điều kiện mọc và lặn của một thiên thể.

*Chú ý :* Khi sử dụng (6.4) để tìm công thức (6.7) công thức tính góc giờ t ứng với thời điểm mọc (lặn) của thiên thể ta đã lấy giá trị của khoảng cách đỉnh nhìn thấy thiên thể ($z = 90^o$). Thực ra do hiện tượng khúc xạ của các tia sáng truyền qua khí quyển mà thiên thể được nâng lên một góc (xem §51) và do hiện tượng thị sai chân trời mà thiên thể bị hạ xuống một góc p (xem §57). Do đó, khoảng cách đỉnh thực sự của thiên thể lúc ta thấy nó mọc (lặn) phải là : $z = 90^o + \rho - p$ và từ (6.4) ta có :

$$\cos t = \frac{\cos(90^o + \rho - p) - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta} \qquad (6.9)$$

Đây là công thức chính xác để tính góc giờ t của thiên thể lúc nó mọc hay lặn.

## §49. HIỆN TƯỢNG KHÚC XẠ CỦA CÁC TIA SÁNG TRUYỀN QUA KHÍ QUYỂN

Trái Đất có khí quyển bao quanh, càng lên cao mật độ khí càng giảm. Như vậy khí quyển là môi trường có chiết suất n giảm dần theo độ cao. Tia sáng từ các thiên thể khi truyền qua khí quyển bị khúc xạ (bị uốn cong dần). Do đó phương AS' mà người quan sát A nhìn thấy thiên thể không trùng với phương AS. Phương AS là phương người quan sát A nhìn thiên thể S nếu như Trái Đất không có khí quyển (H.55).

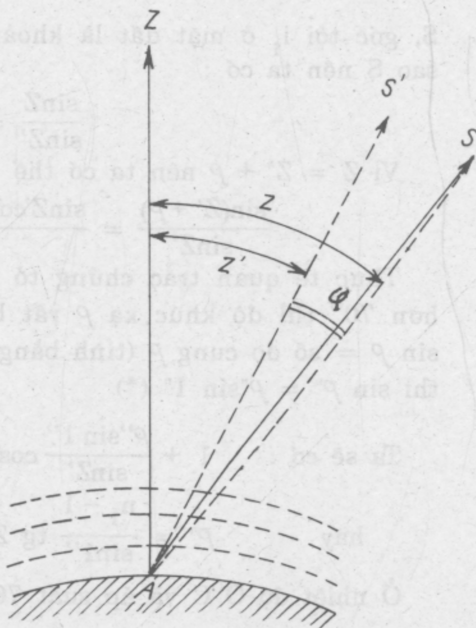
Như vậy do hiện tượng khúc xạ mà thiên thể được nâng cao lên. góc ZAS' = Z' là khoảng cách đỉnh nhìn thấy, còn góc ZAS = Z là khoảng cách đỉnh thực của thiên thể S ở thời điểm quan sát. Hiệu số giữa $Z - Z' = \rho$ gọi là độ khúc xạ. Như vậy :

$$Z = Z' + \rho. \qquad (6\text{-}10)$$

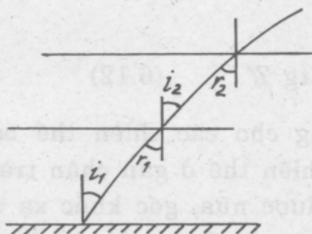
Để tính độ khúc xạ ta hãy giả thiết khí quyển gồm những lớp mỏng đồng tâm, trong mỗi lớp có chiết suất như nhau. Nếu đánh số các lớp từ thấp lên cao là 1, 2, 3, ... m thì chiết suất tương ứng của các lớp đó thỏa mãn bất đẳng thức

$n_1 > n_2 > n_3 > ... > n_{m-1} > n_m$

Nếu kí hiệu góc tới các lớp tương ứng là $i_1, i_2, i_3, ..., i_m$ và góc khúc xạ ở các lớp tương ứng $r_1, r_2, ..., r_{m-1}$. Một cách gần đúng có thể coi $i_1 \approx r_1$, $i_2 \approx r_2$ và theo định luật khúc xạ ta có :




*Hình 55*




*Hình 56*

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{\sin i_3}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_3}$$

. . . . . . . . . . . .

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_{m-1}} = \frac{n_{m-1}}{n_m}$$

Từ hệ đẳng thức trên ta rút ra :

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_m}$$

Vì $n_m$ là chiết suất của lớp trên cùng của khí quyển có thể coi bằng đơn vị, góc tới $i_m$ là khoảng cách đỉnh thực Z của sao

S, góc tới $i_1$ ở mặt đất là khoảng cách đỉnh nhìn thấy Z' của sao S nên ta có :

$$\frac{\sin Z}{\sin Z'} = n_1.$$

Vì Z = Z' + $\rho$ nên ta có thể viết tiếp :

$$\frac{\sin(Z' + \rho)}{\sin Z'} = \frac{\sin Z'\cos\rho + \sin\rho\cos Z'}{\sin Z'} = n_1$$

Thực tế quan trắc chứng tỏ rằng khi khoảng cách đỉnh bé hơn $70^o$ thì độ khúc xạ $\rho$ rất bé và ta có thể coi $\cos\rho = 1$, $\sin \rho$ = số đo cung $\rho$ (tính bằng radian). Nếu $\rho$ tính bằng giây thì $\sin \rho'' = \rho''\sin 1''$ (*)

Ta sẽ có : $$1 + \frac{\rho''\sin 1''}{\sin Z'}\cos Z' = n_1,$$

hay $$\rho'' = \frac{n_1 - 1}{\sin 1''} \operatorname{tg} Z'.$$

Ở nhiệt độ $O^oC$ và áp suất 760mm Hg thì :

$$\rho'' = 60''3 \operatorname{tg} Z' \qquad (6.11)$$

Ở nhiệt độ $t^o$ và áp suất P thì :

$$\rho'' = 60''3 \frac{P}{760} \frac{273}{273+t} \operatorname{tg} Z' \qquad (6.12)$$

Công thức (6.11) và (6.12) ứng dụng cho các thiên thể có khoảng cách đỉnh bé hơn $70^o$. Nếu các thiên thể ở gần chân trời thì công thức trên không còn áp dụng được nữa, góc khúc xạ ở đây biến thiên rất nhanh, khi thiên thể ở sát chân trời thì $\rho$ có trị số đến 35'.

---

(*) Quả vậy : $360^o = 3\,600'' \times 360 = 2\pi$ (radian)

$$1'' = \frac{2\pi}{3600 \times 360} \text{ (radian)}$$

$$\sin 1'' \approx \frac{2\pi}{3600 \times 360} \text{ (radian)}$$

$$\rho'' = \frac{2\pi\rho''}{3600 \times 360} \text{ (radian)}$$

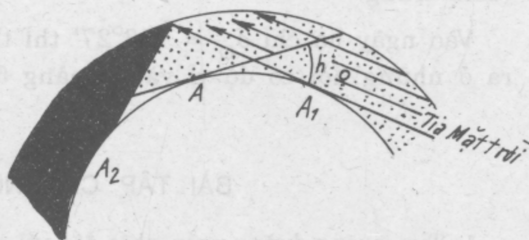
$$\sin\rho'' \approx \frac{2\pi\rho''}{3600 \times 360} \text{ (radian)} = \rho'' \sin 1''$$

Ta thấy góc khúc xạ tăng khi thiên thể càng ở gần chân trời. Điều này thể hiện rõ qua dạng nhìn thấy Mặt Trời và Mặt Trăng khi chúng mới mọc hay sắp lặn, lúc ấy mép dưới của đĩa Mặt Trời (Mặt Trăng) được nâng cao hơn mép trên khoảng 6' và do đó ta nhìn thấy chúng không hoàn toàn tròn (có dạng bầu dục)

## §50. HOÀNG HÔN VÀ BÌNH MINH

Có hiện tượng hoàng hôn và bình minh là do hiện tượng khuếch tán và khúc xạ các tia sáng Mặt Trời từ các lớp khí quyển trên cao đối với nơi quan sát.

Trên hình 57 khu vực $A_1$ A $A_2$ là khu vực thấy hiện tượng trên. Người ta phân ra hai loại hoàng hôn và bình minh.




*Hình 57*

– Hoàng hôn thường kéo dài từ lúc Mặt Trời bắt đầu lặn cho đến lúc nó lặn sâu dưới chân trời $6^o$ ($h = -6^o$) và bình minh thường kéo dài từ lúc Mặt Trời còn ở sâu dưới chân trời $6^o$ cho đến lúc mọc. Khi hoàng hôn thường kết thúc tại một nơi thì ở đó mọi sinh hoạt phải dùng đèn.

– Hoàng hôn thiên văn kết thúc khi Mặt Trời lặn dưới chân trời khoảng $18^o$ ($h = -18^o$), lúc này trời đa tối hẳn, và ta đã có khả năng thấy đủ các sao.

Độ dài của hoàng hôn (bình minh) $\Delta t$ phụ thuộc vào vĩ độ nơi quan sát $\varphi$ và xích vĩ của Mặt Trời $\delta_O$ được tính theo công thức sau :

$$\cos(Z + h_O) = \sin\varphi.\sin\delta_O + \cos\varphi.\cos\delta_O.\cos(t + \Delta t)$$

$$\sin h_O = \sin\varphi.\sin\delta_O + \cos\varphi.\cos\delta_O.\cos(t + \Delta t)$$

$$\cos(t + \Delta t) = \frac{\sin h_O - \sin\varphi \sin\delta_O}{\cos\varphi \cdot \cos\delta_O} \qquad (6.13)$$

trong đó $h_O = -6^o$ tính cho hoàng hôn thường.

$h_O = -18^o$ tính cho hoàng hôn thiên văn ; còn t là góc giờ của Mặt Trời ứng với thời điểm lặn (mọc) tính theo công thức (6.9).

Nếu vận dụng điều kiện không lặn của một thiên thể $\delta_O \geq 90^o - \varphi$ thì đối với những nơi có độ vĩ $\varphi$ thỏa mãn

$$\delta_O \geq 90^o - \varphi - 6^o \qquad (6.14)$$

thì ở nơi đó Mặt Trời không lặn quá dưới chân trời $6^o$ hay nói cách khác hoàng hôn vừa kết thúc thì tiếp đến là bình minh (đêm trắng).

Vào ngày hạ chí $\delta_O = +23^o27'$ thì theo (6.14) đêm trắng diễn ra ở những nơi có độ vĩ vào khoảng $60^o$.

## BÀI TẬP CHƯƠNG VI

1. Tìm quãng đường ngắn nhất đối với một chiếc máy bay đi từ Maxcơva đến Hà Nội. Biết rằng Maxcơva có kinh độ là $37^o34'$, vĩ độ là $55^o45'$, Hà Nội có kinh độ là $105^o50'$, vĩ độ là $21^o03'$.

2. Tính khoảng cách góc giữa sao $\alpha$ và $\beta$ của chòm Bắc Đẩu cho biết tọa độ của chúng là :

$$\alpha_1 = 10^h50^{ph} \qquad \delta_1 = +62^o10'$$
$$\alpha_2 = 10^h57^{ph} \qquad \delta_2 = +56^o47'$$

3. Tìm công thức chuyển từ hệ tọa độ xích đạo $\alpha$, $\delta$ sang hệ tọa độ hoàng đạo L, B và ngược lại.

4. Tìm khoảng cách đỉnh và độ phương của sao $\alpha$ chòm Sư Tử ($\alpha = 10^h04^{ph}$, $\delta = 12^o18'$) tại Vinh ($\varphi = 18^o40'$) lúc đồng hồ chạy theo giờ sao chỉ $5^h23^{ph}$.

5. Tìm các tọa độ chân trời của sao Chức Nữ ($\alpha = 18^h34^{ph}$) ($\delta = 38^o$) vào lúc $20^h$ tại Hà Nội ($\varphi = 21^o$, $\lambda = 105^o52'$) vào ngày 20-XI- 1979. Cho biết lúc $O^h$ quốc tế tại Grinuych vào ngày này thì giờ sao là $3^h53^{ph}40^s$.

**6.** Tính tọa độ xích đạo ($\alpha$, $\delta$) của một vệ tinh nhân tạo quan sát tại một nơi có $\varphi = 21^{O}03'$, lúc thời gian sao $S = 11^{h}11^{ph}36^{s}$ có tọa độ chân trời là $z = 49^{O}15'$, $A = 298^{O}28'$.

**7.** Cho biết xích kinh của Mặt Trời vào ngày 9-V là $45^{O}30'$. Tính xích vĩ của Mặt Trời hôm ấy cho biết góc nghiêng giữa hoàng đạo và xích đạo là $\varepsilon = 23^{O}27'$.

**8.** Tính độ dài hoàng hôn thường tại Hà Nội ($\varphi = 21^{O}$) vào các ngày Hạ chí và Đông chí.

**9.** Tính nơi mọc và lặn của Mặt Trời vào ngày Hạ chí và Đông Chí đối với một nơi có vĩ độ địa lí là $15^{O}$.

**10.** Tại một đài thiên văn có vĩ độ là $43^{O}19'\,01''$ người ta nhận được thông báo về một hành tinh bé mới phát hiện và người ta đo được độ cao của nó khi qua kinh tuyến trên là $37^{O}19'$, $55''$ vào lúc $5^{h}14^{ph}54^{s}$. Hiệu chính khúc xạ khí quyển là $1'3''$. Hỏi tọa độ $\alpha$ và $\delta$ của hành tinh bé lúc đó là bao nhiêu ?

**11.** Sao A có xích vĩ $10^{O}30'$. Một người quan sát tại thành phố H.C.M thấy sao này ở thiên đỉnh và sau đó 4 phút thì người quan sát tại Hà N thấy nó qua kinh tuyến trên và ở cách thiên đỉnh $10^{O}30'$ Nam.

a) Xác định vĩ độ của Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh.

b) Lập biểu thức xác định khoảng cách theo đường chim bay từ Hà Nội đến thành phố Hồ Chí Minh (coi Trái Đất có dạng cầu bán kính R).

*Chương VII*

# MỘT SỐ PHÉP ĐO THIÊN VĂN CƠ BẢN

Ngành thiên văn thực hành có nhiệm vụ nghiên cứu các phương pháp đo đạc đáp ứng nhu cầu đời sống như xác định thời gian, xác định tọa độ địa lí, xác định chính xác phương hướng... hoặc phục vụ nhu cầu phát triển khoa học như xác định khoảng cách tới các thiên thể, xác định kích thước của chúng...

Dưới đây ta sẽ tìm hiểu nguyên tắc xác định một số đại lượng thiên văn cơ bản.

## §51. XÁC ĐỊNH THỜI GIAN VÀ KINH ĐỘ

### 1. Xác định thời gian chính xác

Để theo dõi thời gian ta dùng đồng hồ. Trong thực tế không có một đồng hồ nào chạy tuyệt đối đúng. (Tín hiệu báo giờ hàng ngày đều được truyền từ trạm giờ nơi xác định giờ chính xác bằng phương pháp thiên văn).

Hiệu số giữa giờ chính xác T và số chỉ T' của đồng hồ ở một thời điểm nào đó gọi là số hiệu chính u

$$u = T - T',$$

hay

$$T = T' + u \qquad (7.1)$$

Số hiệu chính u có thể có giá trị âm hoặc dương.

Từ (7.1) ta thấy việc xác định giờ chính xác quy về việc xác định số hiệu chính của đồng hồ. Đây là một nhiệm vụ của thiên văn đo đạc.

Cần biết rằng Trái Đất tự quay với chu kì hầu như không đổi và từ đó nhật động của bầu trời cụ thể bầu trời sao quay là một "đồng hồ thiên nhiên" tuyệt diệu.

Bằng quan sát nhật động của các sao người ta xác định được giờ sao địa phương s của kinh tuyến nơi quan sát. Đã biết giờ sao $s = \alpha + t$. Áp dụng (7.1) cho thang thời gian sao ta có giờ sao s.

$$s = s' + u = \alpha + t$$

hay

$$u = \alpha + t - s' \qquad (7.2)$$

trong đó s' là giờ chỉ của đồng hồ chạy theo thời gian sao.

Từ (7.2) ta thấy rằng muốn xác định độ hiệu chính u của đồng hồ sao, các nhà thiên văn thực hành phải đo góc giờ t của một sao nào đó (có xích kinh $\alpha$ đã biết) và ghi giờ chỉ của đồng hồ s' tại thời điểm đo góc giờ t của sao đó.

Nếu quan sát sao khi nó qua kinh tuyến trên ($t = 0$) thì số hiệu chính của đồng hồ là :

$$s = \alpha = u + s'.$$

$$u = \alpha - s'$$

Từ giờ sao s người ta chuyển sang giờ Mặt Trời trung bình địa phương $T_m$ và từ giờ Mặt Trời trung bình địa phương chuyển sang giờ múi $T_M$ (§45).

### 2. Xác định kinh độ địa lí $\lambda$

Người ta dựa vào cơ sở hiệu giờ địa phương tại 2 nơi (tính ở cùng một thời điểm vật lí) bằng hiệu kinh độ của 2 nơi đó (§43).

Kinh độ địa lí của mỗi nơi được tính từ kinh tuyến gốc ($\lambda_o = 0$). Nếu T là giờ địa phương của kinh tuyến (ở về phía đông Grinuych) và nếu $T_o$ là giờ địa phương của Grinuych thì

$$\lambda = T - T_o \qquad (7.3)$$

Như vậy việc xác định kinh độ của một nơi nào đó quy về việc xác định giờ địa phương tại nơi đó và tại kinh tuyến gốc ở cùng một thời điểm vật lí. Ngày nay tín hiệu giờ địa phương chính xác $T_o$ của kinh tuyến gốc hàng ngày được phát bằng vô tuyến điện.

Quá trình tiến hành xác định độ kinh $\lambda$ như sau : người ta quan sát một sao nào đó để xác định số hiệu chính u của đồng hồ đối với kinh tuyến nơi quan sát. Trước và sau quan sát sao đó người ta thu tín hiệu giờ của kinh tuyến gốc để tính số hiệu chính $u_o$ của đồng hồ đối với kinh tuyến gốc tại thời điểm quan sát sao trên.

Dựa vào (7.1) và (7.3) ta sẽ tính được :

$$\lambda = u - u_o \qquad (7.4)$$

vì $\lambda = T - T_o$

nên $\lambda = (T' + u) - (T' + u_o)$.

Như vậy việc xác định kinh độ quy về việc xác định số hiệu chính của đồng hồ.

## §52. XÁC ĐỊNH VĨ ĐỘ ĐỊA LÍ VÀ SỐ HIỆU CHÍNH U CỦA ĐỒNG HỒ

Có 3 phương pháp xác định vĩ độ $\varphi$ và số hiệu chính u.

1. Xác định $\varphi$ và u qua đo khoảng cách đỉnh Z của thiên thể. Áp dụng công thức (6.4) :

$$\cos Z = \sin\varphi.\sin\delta + \cos\varphi.\cos\delta.\cos t,$$

trong đó $t = s - \alpha$, và dựa vào (7.2) :

$$t = T' + u - \alpha \qquad (7.5)$$

Nếu ta đo khoảng cách đỉnh Z của một thiên thể (đã biết tọa độ xích đạo $\alpha$, $\delta$) và ghi giờ của đồng hồ T' (đồng hồ sao) tại

lúc đo ấy thì trong công thức (6.4) đại lượng chưa biết là $\varphi$ và u. Người ta phải tiến hành một quá trình như vậy đối với một thiên thể thứ hai và có thể coi trong thời gian ngắn này số hiệu chính của đồng hồ không đổi (u). Giải hệ phương trình 2 ẩn số này ta xác định được $\varphi$ và u.

**2.** Xác định $\varphi$ và u qua quan sát thiên thể khi qua kinh tuyến trên. Lúc qua kinh tuyến trên thì góc giờ của thiên thể $t = 0$ và (6.4) sẽ có dạng :

$$\cos Z = \sin\varphi.\sin\delta + \cos\varphi.\cos\delta$$
$$\cos Z = \cos(\varphi - \delta) \text{ hay } \cos Z = \cos(\delta - \varphi).$$

Từ đó :

$\varphi = \delta + Z$ nếu thiên thể qua kinh tuyến trên ở phía nam thiên đỉnh (7.6)

$\varphi = \delta - Z$ nếu thiên thể qua kinh tuyến trên ở phía Bắc thiên đỉnh (7.7)

Và từ (7.5) ta có :

$$u = \alpha - T' \qquad (7.8)$$

Như vậy khi thiên thể qua kinh tuyến trên thì theo (7.6) hay (7.7) ta chỉ cần đo khoảng cách đỉnh là tính được độ vĩ $\varphi$ và theo (7.8) ta chỉ cần ghi giờ T' của đồng hồ là tính được số hiệu chính u.

**3.** Xác định $\varphi$ và u bằng quan sát hai thiên thể ở cùng khoảng cách đỉnh (cùng độ cao). Nếu hai thiên thể có tọa độ xích đạo tương ứng là $\alpha_1$, $\delta_1$ và $\alpha_2$, $\delta_2$ được quan sát tại hai thời điểm tương ứng là $T'_1$ và $T'_2$. Lúc quan sát nếu khoảng cách đỉnh của chúng có trị số như nhau thì từ công thức (6.4) và (7.5) ta viết được phương trình :

$$\sin\varphi\sin\delta_1 + \cos\varphi\cos\delta_1\cos(T'_1 + u - \alpha_1) =$$
$$= \sin\varphi\sin\delta_2 + \cos\varphi\cos\delta_2\cos(T'_2 + u - \alpha_2) \qquad (7.9)$$

trong đó ẩn số là $\varphi$ và u.

Nếu ta lặp lại quan sát cho một cặp sao thứ hai nữa thì ta viết thêm được phương trình thứ hai. Giải hệ phương trình này ta sẽ thu được $\varphi$ và u.

Phương pháp xác định vĩ độ $\varphi$ và độ hiệu chỉnh u của đồng hồ bằng quan sát hai cặp sao ở cùng khoảng cách đỉnh được ứng dụng rộng rãi trong thiên văn đo đạc. Ưu điểm của phương pháp này là không cần phải đo khoảng cách đỉnh mà chỉ có động tác ghi thời điểm lúc 2 cặp thiên thể đi qua một vòng đồng cao nào đó.

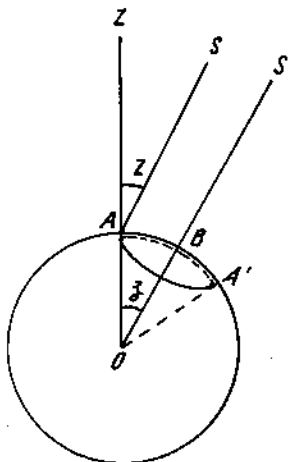
## §53. XÁC ĐỊNH ĐỒNG THỜI KINH ĐỘ VÀ VĨ ĐỘ

Trong giao thông hàng hải, hàng không... nhiều khi người ta cần phải biết nhanh chóng vị trí của các con tàu của mình. Phương pháp xác định đồng thời kinh độ $\lambda$ và vĩ độ $\varphi$ tại một nơi sẽ trình bày dưới đây được sử dụng rộng rãi trong giao thông đường thủy và đường không.

Điểm trên mặt đất mà tại đó một người quan sát thấy thiên thể qua thiên đỉnh ở một thời điểm nào đó được gọi là vị trí địa lí của thiên thể đó. Kinh độ $\lambda$ và vĩ độ $\varphi$ của vị trí địa lí của thiên thể có thể xác định nếu như ta biết được tọa độ xích đạo $\alpha$ và $\delta$ của thiên thể đó và giờ sao $s_o$ ở Grinuych tại thời điểm thiên thể đó qua thiên đỉnh.

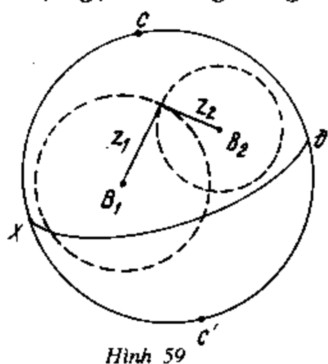
Quả vậy khi thiên thể ở thiên đỉnh (Z = 0) thì vĩ độ của vị trí địa lí của nó $\varphi = \delta$ và góc giờ t của nó bằng không nên giờ sao địa phương của kinh tuyến ở vị trí địa lí của thiên thể đó $s = \alpha$. Từ đó kinh độ của vị trí địa lí của thiên thể ấy $\lambda = \alpha - s_o$.

Nếu người quan sát ở tại điểm A không trùng với vị trí địa lí B của thiên thể S (H.58) thì tại thời điểm $s_o$ sẽ thấy S có khoảng cách Z (các tia sáng xuất hiện từ sao truyền đến mọi điểm trên mặt đất có thể coi như song song). Nói cách khác người quan sát ở cách



*Hình 58*

vị trí địa lí B của thiên thể S một khoảng bằng cung AB = Z. Vòng tròn tâm B và có bán kính cầu BA được gọi là vòng cùng độ cao.



*Hình 59*

Giả sử một người quan sát đo khoảng đỉnh $Z_1$ của sao $S_1$ (có tọa độ $\alpha_1$ và $\delta_1$), tại thời điểm $s_{01}$ (giờ sao ở Grinuych) và đo khoảng cách đỉnh $Z_2$ của sao $S_2$ (có tọa độ $\alpha_2$ và $\delta_2$) tại thời điểm $s_{02}$ (giờ sao ở Grinuych). Như vậy người quan sát đang đứng tại một trong hai giao điểm của hai vòng cùng độ cao : vòng thứ nhất có bán kính $Z_1$ và có tâm $B_1$ (vị trí địa lí của sao $S_1$) với tọa độ : $\varphi_1 = \delta_1$ và $\lambda_1 = \alpha_1 - s_{01}$. Vòng thứ hai có bán bính $Z_2$ và có tâm $B_2$ (vị trí địa lí của sao $S_2$) với tọa độ $\varphi_2 = \delta_2$ và $\lambda_2 = \alpha_2 - s_{02}$ (h.59).

Từ đó trên mặt quả địa cầu ta xác định được hai điểm $B_1$ và $B_2$, vẽ được hai vòng cùng độ cao với bán kính $Z_1$ và $Z_2$, tức là xác định được hai giao điểm của hai vòng đó. Vì bán kính các vòng trên khá lớn và hai giao điểm nằm khá xa nhau, nên người quan sát chỉ cần biết gần đúng vị trí của mình là có thể khẳng định được mình đang đứng tại giao điểm nào, tức là biết được tọa độ của nơi mình đứng.

## §54. XÁC ĐỊNH ĐỘ PHƯƠNG CỦA MỘT VẬT TRÊN MẶT ĐẤT

Trong công tác thiên văn trắc địa và bản đồ, việc xác định độ phương là một trong những phép đo cơ bản.

Muốn xác định độ phương của một vật trên mặt đất, chẳng hạn vật V (H.60) trước hết người ta xác định độ phương của một thiên thể S nào đó. Tiếp đến người ta xác định góc ΔA tạo

nên bởi vòng thẳng đứng qua thiên thể và vòng thẳng đứng qua vật V. Độ phương $A_v$ của vật sẽ là :

$$A_v = A - \Delta A.$$

Độ phương A của thiên thể S được tính theo công thức chuyển tọa độ :

$$tgA = \frac{\cos\delta . \sin t}{-\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi \cos\delta . \cos t}$$


*Hình 60*

Để tính A người ta chỉ cần ghi số chỉ T của đồng hồ tại thời điểm quan sát S. Biết số hiệu chính của đồng hồ là u và xích kinh $\alpha$ của thiên thể S ta sẽ tính được góc giờ t của thiên thể ở thời điểm quan sát $t = T + u - \alpha$. Đưa giá trị của góc giờ t, của vĩ độ địa lí $\varphi$ và của xích vĩ $\delta$ của thiên thể vào công thức trên ta sẽ tính được độ phương A.

Ngoài ra khi biết chính xác độ phương của một vật nằm cố định trên mặt đất đối với nơi quan sát thì ta xác định được đường Bắc Nam của nơi này và từ đó ta bố trí được ống kính quan sát quay trong mặt phẳng kinh tuyến trời – một động tác rất cơ bản để quan sát các thiên thể khi chúng qua kinh tuyến trên.

## §55. XÁC ĐỊNH KHOẢNG CÁCH ĐẾN CÁC THIÊN THỂ

Tọa độ của các thiên thể trên thiên cầu được xác định bằng các kết quả quan sát từ các điểm khác nhau trên mặt đất không hoàn toàn bằng nhau. Sự khác nhau này biểu hiện rất rõ đối với các thiên thể ở gần (trong hệ Mặt Trời).

Góc tạo thành bởi phương nhìn đến thiên thể $S_2$ từ một điểm trên mặt đất và phương nhìn đến thiên thể đó từ tâm Trái Đất được gọi là thị sai ngày của thiên thể đó (góc p trên

hình 61). Rõ ràng khi thiên thể ở thiên đỉnh thì thị sai ngày của nó bằng không. Khi thiên thể nằm trên chân trời thì có trị số lớn nhất và được gọi là thị sai chân trời ($p_o$).

Từ hai tam giác $OAS_2$ và $OAS_1$ ta có :

$$\frac{R}{\Delta} = \frac{\sin p}{\sin Z} \text{ và } \frac{R}{\Delta} = \sin p_o$$

*Hình 61*

Từ đó : $\sin p = \sin p_o \cdot \sin Z$.

Thị sai chân trời ($p_o$) của các thiên thể nói chung đều bé nên ta có thể viết :

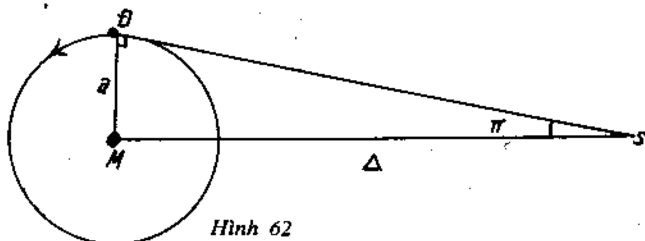
$$p = p_o \sin Z \qquad (7.10)$$

Biết thị sai chân trời $p_o$ của một thiên thể, ta tính được khoảng cách $\Delta$ từ nó đến tâm Trái Đất :

$$\Delta = \frac{R}{\sin p_o} \qquad (7.11)$$

Đối với các sao (ngoài hệ Mặt Trời) vì ở quá xa nên thị sai chân trời của chúng quá bé không thể xác định được. Người ta phải sử dụng thị sai năm.

Thị sai năm ($\pi$) của một sao là góc nhìn bán kính quỹ đạo chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời từ sao đó. Trên hình 62 vòng tròn là quỹ đạo chuyển động của Trái Đất Đ (M là Mặt Trời).




*Hình 62*

Ta có : $$\Delta = \frac{a}{\sin\pi} \qquad (7.12)$$

Từ (7.11) và (7.12) ta thấy rằng việc xác định khoảng cách đến các thiên thể thực chất là đo thị sai của chúng. Đối với các thiên thể ở rất xa (hàng triệu năm ánh sáng) thì người ta sử dụng các phương pháp xác định khác (xem §114).

Ngày nay người ta đã có khả năng đo khoảng cách đến các thiên thể ở gần bằng phương pháp vô tuyến định vị. Khoảng cách Δ từ thiên thể đến Trái Đất được tính theo công thức :

$$\Delta = \frac{ct}{2}$$

trong đó c là vận tốc truyền của sóng điện từ, t là thời gian tính từ lúc phát xung sóng đến lúc sóng phản hồi lại máy phát.

## §56. XÁC ĐỊNH THỊ SAI CHÂN TRỜI

Giả sử từ 2 vị trí $A_1$ và $A_2$ trên mặt đất nằm trên cùng một kinh tuyến ($\lambda$ như nhau) người ta cùng đo khoảng cách đỉnh $Z_1$ và $Z_2$ của một thiên thể S nào đó lúc nó qua kinh tuyến trên. Trên hình 63 hai vị trí $A_1$ và $A_2$ đều ở về Bắc bán cầu và có độ vĩ tương ứng $\varphi_1$ và $\varphi_2$. Từ tứ giác $A_1SA_2O$ ta có :

$$P_1 + P_2 + 180^o - Z_1 + 180^o - Z_2 + \varphi_1 - \varphi_2 = 360^o$$

Từ đó $$P_1 + P_2 = Z_1 + Z_2 - \varphi_1 + \varphi_2 \qquad (7.13)$$

Theo (7.10) ta có :

$$P_1 = P_o \sin Z_1$$
$$P_2 = P_o \sin Z_2$$

Do đó : $$P_1 + P_2 = P_o (\sin Z_1 + \sin Z_2) \qquad (7.14)$$

Từ (7.13) và (7.14) ta tính được thị sai chân trời $P_o$ của thiên thể S :

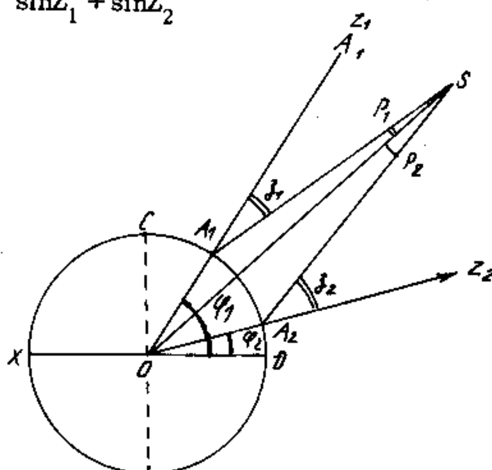
$$P_o = \frac{Z_1 + Z_2 - \varphi_1 + \varphi_2}{\sin Z_1 + \sin Z_2} \qquad (7.15)$$

Như vậy việc xác định thị sai chân trời của một thiên thể được quy về xác định khoảng cách đỉnh ($Z_1$ và $Z_2$) của thiên thể đó.

Bằng phương pháp trên người ta đo được thị sai chân trời của Mặt Trăng

$P_o$ = 57'2"67

Do đó khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng bằng 384 400 km.




*Hình 63*

## §57. CÁC ĐƠN VỊ ĐO KHOẢNG CÁCH TRONG THIÊN VĂN HỌC

Vì khoảng cách đến các thiên thể rất lớn, nên trong thiên văn học, người ta đã quy định các đơn vị đo khoảng cách như sau :

**1.** Đơn vị thiên văn (đ.v.t.v.) có độ dài bằng khoảng cách trung bình từ Trái Đất đến Mặt Trời

$$1 \text{ đ.v.t.v} = 1,496.10^{11} \text{m}$$

**2.** Năm ánh sáng (n.a.s) có độ dài bằng quãng đường ánh sáng truyền trong chân không trong một năm

$$1 \text{ n.a.s} = 9,460.10^{15} \text{ m} = 63240 \text{ đ.v.t.v.}$$

**3.** Pasêc (ps) có khoảng cách ứng với thị sai năm bằng 1 giây (1'')

$$1 \text{ ps} = 3{,}086.10^{16}\text{m} = 206\ 265 \text{ đ.v.t.v}$$
$$= 3{,}262 \text{ n.a.s.}$$

Đối với các thiên thể trong hệ Mặt Trời (vì ở gần) nên khoảng cách được tính theo đ.v.t.v, chẳng hạn như Thủy Tinh cách Mặt Trời 0,387 đ.v.t.v. còn Diêm Vương Tinh cách Mặt Trời : 39,75 đ.v.t.v.

Vì các sao (ở ngoài hệ Mặt Trời) ở rất xa nên khoảng cách được đo bằng pasêc hay năm ánh sáng. Trong trường hợp này thì :

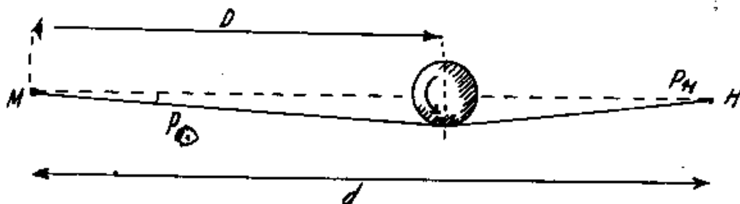
$$\Delta = \frac{1}{\pi''} \text{ ps} ,$$

hay
$$\Delta = \frac{3{,}262}{\pi''} \text{ n.a.s} .$$

Chẳng hạn như sao Cận Tinh (sao ở gần nhất) trong chòm Nhân Mã có thị sai năm $\pi$ = 0''762, cách ta 1,31 ps hay 4,26 n.a.s.

## §58. XÁC ĐỊNH ĐƠN VỊ THIÊN VĂN
## (thị sai của Mặt Trời)

Nếu biết thị sai chân trời của Mặt Trời thì ta có thể tính khoảng cách trung bình từ Trái Đất đến Mặt Trời theo công thức (7.11) tức là xác định được đơn vị thiên văn. Độ chính xác của phép tính này phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo thị sai chân trời của Mặt Trời. Thực tế đo trực tiếp thị sai của Mặt Trời như đã trình bày ở §56 sẽ mắc sai số lớn vì Mặt Trời ở khá xa (thị sai quá bé).




*Hình 64*

Cuối thế kỉ XVII người ta đã xác định gián tiếp thị sai của Mặt Trời qua thị sai của Hỏa Tinh khi hành tinh này giao hội với Trái Đất (H.64).

Gọi thị sai chân trời của Hỏa Tinh là $P_H$, của Mặt Trời là $P_{\odot}$, khoảng cách trung bình từ Trái Đất đến Mặt Trời là D, khoảng cách từ Mặt Trời đến Hỏa Tinh là d. Ta có :

$$D = \frac{R}{P_{\odot} \sin 1''}$$

$$d - D = \frac{R}{P_H \sin 1''}$$

Từ đó :

$$\frac{d - D}{D} = \frac{P_{\odot}}{P_H}$$

hay

$$\frac{d}{D} - 1 = \frac{P_{\odot}}{P_H}$$

Tỉ số $\frac{d}{D}$ được tính theo định luật 3 Kêple, còn thị sai chân trời của Hỏa Tinh $P_H$ được xác định từ quan sát (theo §56).

Kết hợp với phương pháp vô tuyến định vị, năm 1964 Hội thiên văn quốc tế đã xác nhận giá trị của thị sai chân trời của Mặt Trời $P_{\odot}$ và đơn vị thiên văn như sau :

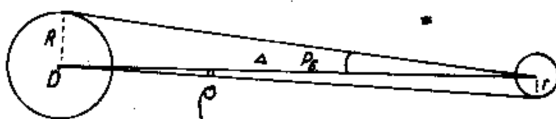
$$P_{\odot} = 8''794$$

do đó 1 đ.v.t.v = $149{,}6.10^6$ km (gần 150 triệu km)

## §59. XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC CỦA CÁC THIÊN THỂ

Ta đã biết phương pháp xác định khoảng cách đến các thiên thể. Nếu biết thêm bán kính góc của các thiên thể thì dễ dàng tính được kích thước của chúng. Bán kính góc của các thiên thể ở gần như Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh có thể xác định

trực tiếp bằng kính đo góc. Trên hình 65, Trái Đất Đ có bán kính R, thiên thể S có bán kính r và bán kính góc $\rho$. Ta dễ dàng tính được bán kính r của thiên thể S :




*Hình 65*

$$r = \frac{\sin \rho}{\sin p_o} R.$$

Vì $\rho$ và $P_o$ đều bé nên

$$r = \frac{\rho}{P_o} R. \qquad (7.16)$$

Kết quả đo đạc cho biết :

Mặt Trăng có $\rho$ = 15'52"6
tức là có bán kính r = 3 476 km.

Mặt Trời có $\rho$ = 16'16" tức là có r = 696 000 km,

Các sao ở quá xa nên không thể đo trực tiếp bán kính góc mà phải đo bằng phương pháp đặc biệt (xem §102).

## §60. KÍNH ĐO GÓC

Trong nhiều phép đo kể trên, chẳng hạn như đo khoảng cách đỉnh (Z), đo độ phương (A) của các thiên thể... đều quy về phép đo góc trong mặt phẳng thẳng đứng hay trong mặt phẳng nằm ngang (và ghi thời điểm đo ấy).

Trong thiên văn, có nhiều loại kính đo góc được cấu tạo khác nhau đáp ứng những đối tượng đo khác nhau.

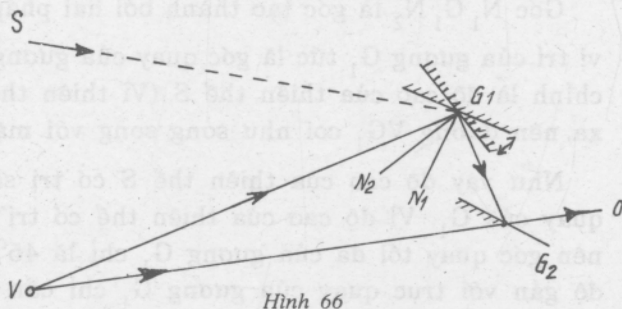
Cấu tạo cơ bản và chung nhất của các loại kính đo góc là một ống kính cỡ nhỏ có thể quay quanh hai trục đặt thẳng góc với nhau – trục nằm ngang và trục thẳng đứng. Góc quay được xác định trên mâm chia độ (gắn với trục quay) có du xích. Hiện

nay người ta đã tạo nên du xích có thể cho phép đo góc với độ chính xác đến phần nhỏ của giây.

## §61. KÍNH LỤC PHÂN

Kính lục phân là dụng cụ đo góc xách tay đơn giản thường được dùng trong giao thông hàng hải, hàng không để xác định vị trí của con tàu trong các cuộc hành trình.

Bộ phận chủ yếu của kính lục phân là 2 tấm gương nhỏ $G_1$ và $G_2$ (H.66). Gương $G_1$ phản chiếu ánh sáng và có thể quay quanh một trục (trên hình vẽ trục quay này thẳng góc với mặt giấy). Gương $G_2$ đặt cố định, một nửa phản chiếu ánh sáng và một nửa trong suốt.



*Hình 66*

Muốn xác định khoảng cách đỉnh của thiên thể nào đó, chẳng hạn của sao S thì ta tiến hành như sau :

Hướng kính về phía sao S và tìm ngắm một vật nào đó V nằm cố định ở khá xa trên mặt đất theo hướng đó. Ta sẽ thấy trực tiếp vật V qua phần trong suốt của gương $G_2$. Lúc này ta quay gương $G_1$ sao cho các tia sáng từ vật V truyền đến $G_1$ phản xạ về $G_2$ và từ $G_2$ truyền đến mắt ta (O). Như vậy mắt ta sẽ thu được hai ảnh của vật V trùng lên nhau (một nhìn trực tiếp, một phản xạ qua hai gương). Qua thang chia độ, ta ghi lấy vị trí thứ nhất này của gương $G_1$. Sau đó ta quay $G_1$ cho đến khi thấy được ảnh của sao S nằm trùng với vật V (hình nhìn trực tiếp) và ghi vị trí thứ hai này của gương $G_1$. Trên hình vẽ $G_1N_1$

là pháp tuyến của gương $G_1$ ứng với vị trí thứ nhất, $G_1N_2$ là pháp tuyến của gương $G_1$ ứng với vị trí thứ hai. Từ hình vẽ ta có liên hệ giữa các góc :

$$\widehat{SG_1G_2} = 2\ \widehat{N_2G_1G_2} \qquad (1)$$

$$\widehat{VG_1G_2} = 2\ \widehat{N_1G_1G_2}. \qquad (2)$$

Trừ (1) cho (2) ta được :

$$\widehat{SG_1V} = 2\ \widehat{N_1G_1N_2}.$$

Góc $N_1G_1N_2$ là góc tạo thành bởi hai pháp tuyến ứng với hai vị trí của gương $G_1$ tức là góc quay của gương $G_1$. Còn góc $SG_1V$ chính là độ cao của thiên thể S (Vì thiên thể S và vật V ở rất xa nên đường $VG_1$ coi như song song với mặt đất).

Như vậy độ cao của thiên thể S có trị số bằng hai lần góc quay của $G_1$. Vì độ cao của thiên thể có trị số lớn nhất là $90^o$ nên góc quay tối đa của gương $G_1$ chỉ là $45^o$. Vì vậy mâm chia độ gắn với trục quay của gương $G_1$ chỉ cần một hình quạt mà góc ở đỉnh bằng $60^o = \frac{1}{6}$ vòng tròn là thỏa mãn phép đo. Chính vì lẽ đó mà kính được gọi là kính lục phân.

Mặt khác để tránh động tác nhân đôi góc quay, người ta đã khắc lên mâm chia độ với giá trị gấp đôi (cung $60^o$ được ghi thành $120^o$)

## §62. ĐỒNG HỒ THIÊN VĂN

Trong mọi trường hợp quan sát, người ta đều phải ghi thời điểm quan sát. Độ chính xác của thời điểm ghi phụ thuộc vào độ chính xác của đồng hồ. Vì vậy các đồng hồ dùng trong quan trắc thiên văn phải được chế tạo tinh vi để đảm bảo tính chính xác cao.

Đồng hồ con lắc là kiểu đồng hồ thông dụng. Chu kì của con lắc phụ thuộc vào độ dài của nó và phụ thuộc vào áp suất không khí. Để đảm bảo chu kì dao động không đổi (đảm bảo nhịp chạy đều của đồng hồ) người ta đã dùng những hợp kim đặc biệt (ít co dãn theo nhiệt độ) để chế tạo con lắc và bộ phận này còn được đặt trong lồng kín (có áp suất thấp). Toàn bộ đồng hồ được đặt trong buồng kín ở độ sâu từ 10 – 12m.

Một đồng hồ con lắc thiên văn hoàn chỉnh bao gồm hai con lắc. Một con lắc được gọi là tự do (đặt trong lồng kín, dưới hầm sâu) có chu kì dao động gần như không đổi. Dao động của con lắc tự do này được chuyển đến một con lắc thứ cấp (có gắn bộ phận kim quay) đặt ở phòng làm việc.

Người ta cũng đã chế tạo những loại đồng hồ khác có độ chính xác cao, chẳng hạn như đồng hồ thạch anh mà nguyên tắc hoạt động của nó dựa vào hiệu ứng áp điện của tinh thể thạch anh. Ở đây vai trò của con lắc là tấm tinh thể thạch anh được đặt trong một điện trường biến thiên với tần số cao. Tấm thạch anh sẽ dao động đàn hồi khi đạt tiêu chuẩn cộng hưởng (vào khoảng từ 50 000 – 1 000 000 Hz). Dao động này sẽ được khuếch đại (về biên độ) và được hạ tần số xuống khoảng 1000 Hz, trước khi chuyển đến bộ phận làm quay kim đồng hồ. Đồng hồ thạch anh là một dụng cụ điện tử phức tạp có độ chính xác cao (sai số ± 0,0002 giây trong một ngày). Ngày nay, đồng hồ thạch anh được thay thế bởi đồng hồ nguyên tử, có độ chính xác rất cao.

Để ghi thời điểm quan sát một cách thuận lợi và chính xác, người ta thường sử dụng thêm bộ phận ghi giờ tự động.

Nên biết rằng, trong các đài thiên văn trắc đạc, ngoài đồng hồ chạy theo giờ thường, còn có đồng hồ chạy theo giờ sao ...

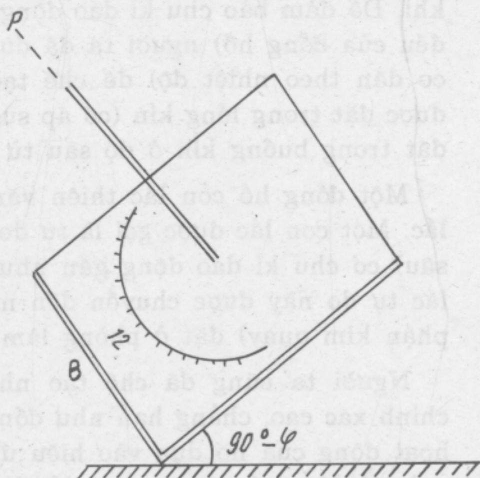
## §63. ĐỒNG HỒ MẶT TRỜI

Hàng ngày Mặt Trời nhật động quanh Trái Đất (quanh trục vũ trụ). Nếu có một cái que đặt theo phương song song với trục

vũ trụ thì bóng của que này trên tấm ván đặt thẳng góc với que cũng sẽ quay đều. Đó là cơ sở để tạo ra một đồng hồ được gọi là đồng hồ Mặt Trời.

### 1. Đồng hồ Mặt Trời kiểu xích đạo

Đồng hồ này gồm một cái que cắm thẳng góc với một tấm ván. Tấm ván làm mặt đồng hồ. Mặt đồng hồ được đặt song song với mặt phẳng xích đạo và do đó que sẽ nằm theo phương song song với trục vũ trụ (H.67). Như vậy mặt đồng hồ nghiêng với phương nằm ngang một góc $90^o - \varphi$ ($\varphi$ là vĩ độ nơi đặt đồng hồ).



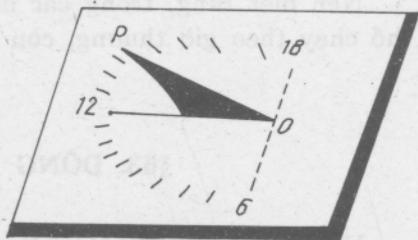
*Hình 67*

Do nhật động của Mặt Trời từ Đông sang Tây mà bóng của que cũng quay đều trên mặt từ Tây sang Đông, cứ mỗi giờ thì bóng quay được $15^o$. Rõ ràng lúc giữa trưa bóng que in theo phương đường Bắc Nam ($12^h$).

### 2. Đồng hồ Mặt Trời kiểu chân trời

Mặt đồng hồ loại này được đặt theo phương nằm ngang. Que được cắm nghiêng với mặt một góc bằng độ vĩ địa lí. Đồng hồ được đặt sao cho que nằm song song với trục vũ trụ (H.68).

Dọ nhật động, Mặt Trời chuyển động quanh trục vũ trụ (quanh que) trong mặt phẳng thẳng góc với trục vũ trụ. Như vậy mặt đồng hồ không song song với mặt phẳng nhật động của Mặt Trời (nghiêng một góc bằng $90^o - \varphi$) nên bóng que quét trên mặt đồng hồ với vận



*Hình 68*

tốc không đều, từ đó các vạch chia giờ trên mặt đồng hồ này cũng không đều. Muốn khắc giờ trên mặt ta phải tính góc quay của bóng que ứng với từng giờ nhất định trong ngày. Ví dụ Mặt Trời ở vị trí S (H.69) ứng với góc giờ t. Bóng của que OP là OI nằm trên giao tuyến của mặt đồng hồ và mặt phẳng của vòng giờ qua S.

*Hình 69*

Trên hình vẽ BN là đường Bắc Nam. Khi bóng của que in lên đường OB là ứng với $12^h$ và in lên OI là ứng với $t^h$. Như vậy ta cần tính góc BOI hay cung BI = x. Từ tam giác cầu PBI vuông góc tại B ta có :

$$\text{tg BT} = \sin BP . \text{tg} \widehat{BPI}$$

hay $$\text{tg}x = \sin\varphi . \text{tg}t$$

Ta thấy độ chia trên mặt đồng hồ cho các giờ trong ngày phụ thuộc vào vĩ độ $\varphi$ của nơi đặt đồng hồ. Ta cũng dễ hình dung được rằng các vạch ứng với 6, 7, 8, 9, 10, 11 giờ sáng sẽ đối xứng với 6, 5, 4, 3, 2, 1 giờ chiều qua vạch $12^h$. Sau đây là bảng ghi tính cho Hà Nội có vĩ độ $\varphi = 21^o$

| Giờ | $11^h(1^h)$ | $10^h(2^h)$ | $9^h(3^h)$ | $8^h(4^h)$ | $7^h(5^h)$ | $6^h(6^h)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Độ chia x | $5^o5$ | $11^o7$ | $19^o7$ | $31^o7$ | $33^o2$ | $90^o$ |

Cần biết rằng đồng hồ Mặt Trời chỉ giờ mặt trời thực địa phương. Muốn quy về giờ sinh hoạt (giờ múi) thì phải hiệu chính với phương trình thời gian và độ kinh nơi đặt đồng hồ. Trong sinh hoạt bình thường không đòi hỏi độ chính xác cao thì ta có thể sử dụng giờ của đồng hồ Mặt Trời.

## BÀI TẬP CHƯƠNG VII

1. Tại một nơi quan sát có giờ sao là $12^h15^{ph}52^s$, vào lúc ấy giờ sao ở Grinuych là $5^h17^{ph}12^s$. Hỏi kinh độ của nơi đó là bao nhiêu ?

2. Vào ngày thu phân, bóng của một que cắm thẳng trên mặt phẳng nằm ngang lúc giữa trưa bằng 0,374 độ dài của que. Hãy xác định vĩ độ nơi cắm que.

3. Khoảng 1 100 năm trước công nguyên, độ cao của Mặt Trời vào ngày Hạ chí là $79^{o}7'$, vào ngày Đông chí là $31^{o}19'$ (ở phía Nam thiên đỉnh). Hãy tính vĩ độ của nơi quan sát và góc nghiêng giữa hoàng đạo và xích đạo thời ấy.

4. Một thuyền trưởng đo khoảng cách đỉnh của Mặt Trời đúng lúc giữa trưa ngày Đông chí (22-XII) được $45^{o}$ Nam. Sau đó $1^{h}32^{ph}$ ông ta nghe đài phát thanh Hà Nội phát tín hiệu $12^{h}$. Tính tọa độ địa lí của nơi ông ta quan sát. Cho biết thời sai vào ngày đó là – 9 phút.

5. Một sao có khoảng cách đỉnh khi qua kinh tuyến trên bằng $68^{o}6'8''$ và khi qua kinh tuyến dưới bằng $69^{o}47'42''$. Tính vĩ độ nơi quan sát và xích vĩ của sao ấy. Sao này là sao gì ?

6. Vào lúc $20^{h}$ người ta thấy Sao Chức Nữ ở khoảng cách đỉnh $35^{o}30'$. Tính vĩ độ nơi quan sát biết tọa độ xích đạo của sao Chức nữ là $38^{o}$ và $18^{h}34^{ph}$, giờ sao lúc $0^{h}$ quốc tế ngày hôm đó tại Grinuych là $3^{h}14^{ph}48^{s}$.

7. Mặt Trăng có bán kính góc bằng $16'20''$, thị sai chân trời bằng $59'51''$. Tính bán kính góc nhìn thấy của Mặt Trăng khi nó có thị sai chân trời bằng $34'22''$.

*Chương VIII*

# TUẦN TRĂNG. NHẬT NGUYỆT THỰC. THỦY TRIỀU

Tuần trăng, nhật nguyệt thực và thủy triều là ba hiện tượng tự nhiên liên quan đến bộ ba : Mặt Trời, Trái Đất và Mặt Trăng.

## I - TUẦN TRĂNG

Mặt Trăng là thiên thể nguội, được Mặt Trời dọi sáng. Tùy theo vị trí tương đối giữa Trái Đất, Mặt Trời và Mặt Trăng mà ta thấy phần dọi sáng của Mặt Trăng nhiều hay ít (tròn hay khuyết)

### §64. QUỸ ĐẠO CỦA MẶT TRĂNG

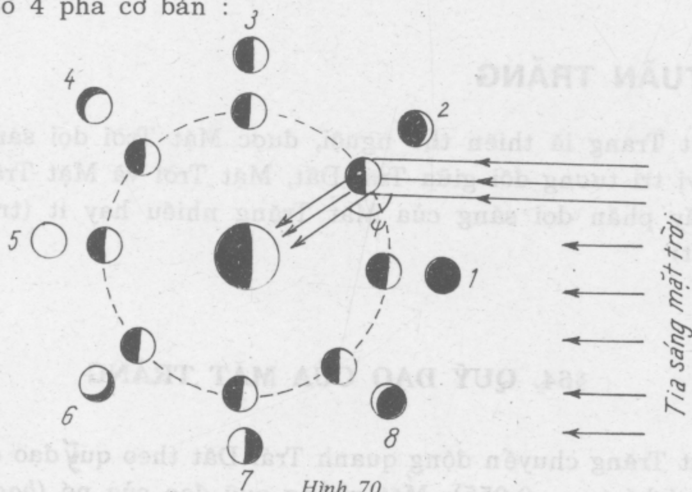
Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elip với tâm sai bé (e = 0,055). Mặt phẳng quỹ đạo của nó (*bạch đạo*) nghiêng với mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất (hoàng đạo) một góc $5^{o}9'$. Chu kì chuyển động bằng 27,32 ngày.

Thực ra chuyển động của Mặt Trăng phức tạp hơn nhiều vì bị lực nhiễu loạn khá lớn. Các thông số quỹ đạo của nó không ngừng biến thiên, chẳng hạn như độ nghiêng giữa mặt phẳng bạch đạo và mặt phẳng hoàng đạo dao động trong khoảng $4^{o}58'$ đến $5^{o}20'$.

## §65. CHUYỂN ĐỘNG BIỂU KIẾN CỦA MẶT TRĂNG

Theo dõi vị trí của Mặt Trăng trên nền trời sao ta thấy nó từ từ di chuyển theo chiều từ Tây sang Đông nghĩa là ngược với chiều nhật động. Do Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất và hệ Trái Đất – Mặt Trăng chuyển động quanh Mặt Trời mà từ Trái Đất ta thấy Mặt Trăng ở cách Mặt Trời với khoảng cách góc thay đổi và cũng từ đó thấy được hình dạng của phần sáng biến thiên với chu kì xác định.

Hình 70 cho ta thấy các pha của tuần trăng. Do Mặt Trời ở khá xa nên các tia sáng từ Mặt Trời truyền đến là những tia song song. Góc $\psi$ tạo thành bởi phương của tia sáng Mặt Trời và phương của tia sáng phản xạ từ Mặt Trăng được gọi là góc pha. Có 4 pha cơ bản :




*Hình 70*

+ $\psi = 180^o$ Mặt Trăng ở vị trí 1, giao hội với Mặt Trời thì nửa Mặt Trăng được dọi sáng hướng về Mặt Trời, nửa tối hướng về Trái Đất nên đêm này ta không thấy Trăng (không trăng).

+ $\psi = 0^o$ Mặt Trăng ở vị trí 5, xung đối với Mặt Trời thì nửa Mặt Trăng được dọi sáng hướng về Trái Đất nên ta thấy trăng tròn.

+ $\psi = 90^{o}$ ở vị trí 3 và 7 thì ta thấy trăng bán nguyệt.

Nếu theo dõi một tuần trăng từ ngày không trăng trở đi thì ta sẽ thấy lần lượt từ lưỡi liềm, bán nguyệt (thượng huyền), trăng khuyết, trăng tròn, trăng khuyết, bán nguyệt (hạ huyền) lưỡi liềm, không trăng.

Do tháng Âm lịch lấy cơ sở của tuần trăng nên tương ứng với các ngày nhất định của tháng Âm lịch ta thấy trăng sáng có dạng xác định.

| *Dạng* | *Ngày A.L* | *Góc Pha* |
|---|---|---|
| Không trăng | 1 | 0 |
| Lưỡi liềm | 2 ÷ 5 | $180^{o} < \psi < 90^{o}$ |
| Bán nguyệt | 7 ÷ 8 | $90^{o}$ |
| Trăng tròn | 14÷15÷16 | $180^{o}$ |
| Bán nguyệt | 22÷23 | $270^{o}$ |
| Lưỡi liềm | 25÷ Cuối tháng | $270^{o} < \psi < 360^{o}$ |

## §66. CHU KÌ CỦA TUẦN TRĂNG

Biết Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất với chu kì bằng 27,32 ngày. Nếu như Trái Đất nằm yên thì tuần trăng sẽ có độ dài bằng số ngày đó. Do Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời với chu kì 365,25 ngày nên khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp của một pha nào đó của tuần trăng, chẳng hạn như giữa hai lần trăng tròn sẽ không bằng 27,32 ngày.

Giả sử Mặt Trời và Mặt Trăng đang ở vị trí giao hội (vị trí 1 hình 70). Sau mỗi ngày Mặt Trăng di chuyển một cung bằng $360^{o} : 27,13 = 13^{o}$, còn Mặt trời di chuyển (do Trái Đất chuyển động) được một cung bằng $360^{o} : 365,25 = 1^{o}$. Ta dễ dàng lập được phương trình để tính khoảng thời gian để Mặt Trời và Mặt Trăng trở lại vị trí giao hội, tức là chu kì của tuần trăng :

$$\frac{360}{27,32} - \frac{360}{365,25} = \frac{360}{Tgh}$$

Từ đó ta rút ra được chu kì giao hội (hay tuần trăng) $T_{gh}$ = 29,53 ngày.

Cũng dễ dàng luận ra rằng, ngày trên Mặt Trăng dài bằng một tháng giao hội, bằng 29,53 ngày trên Trái Đất.

## §67. CHU KÌ TỰ QUAY CỦA MẶT TRĂNG

Ta đã biết Mặt Trăng luôn hướng một nửa nhất định về Trái Đất. Sở dĩ có hiện tượng này là do chu kì tự quay của Mặt Trăng đúng bằng chu kì chuyển động của nó quanh Trái Đất và có chiều tự quay và chiều chuyển động trùng nhau.

Nếu vận dụng những khái niệm như trong chương V (phần thời gian) thì chu kì tự quay của Mặt Trăng là ngày sao của nó = 27,32 ngày và ngày mặt trời trên đó bằng tháng giao hội = 29,53 ngày (tóm lại trên Mặt Trăng một tháng chỉ có một ngày đêm).

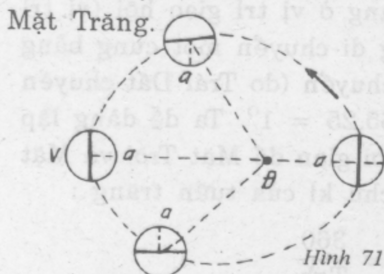
Cần biết thêm rằng trục tự quay của Mặt Trăng không vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo của nó, mà nghiêng với pháp tuyến của mặt phẳng quỹ đạo một góc bằng $6^{o}40'$.

Rõ ràng ở mỗi thời điểm từ Trái Đất con người chỉ quan sát được đúng một nửa nguyệt cầu, nhưng nếu quan sát trong một chu kì Tuần trăng thì có thể quan sát được 60% bề mặt của nó do các nguyên nhân sau :

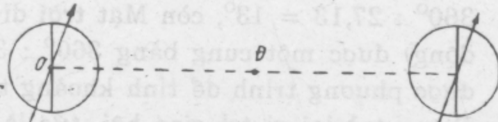
– Quỹ đạo của Mặt Trăng có dạng elip (H.71).

– Trục tự quay của Mặt Trăng nghiêng với mặt phẳng quỹ đạo (H.72).

– Từ vị trí khác nhau trên Trái Đất (khá xa nhau) quan sát Mặt Trăng.




*Hình 71*

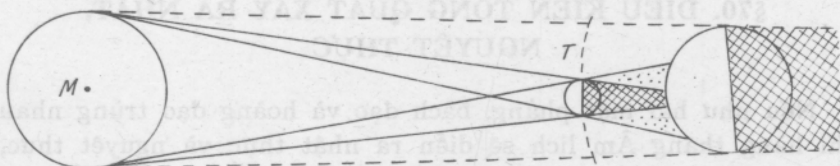



*Hình 72*

## II - NHẬT NGUYỆT THỰC

### §68. NHẬT THỰC

Vào thời kì Mặt Trăng và Mặt Trời giao hội (thời kì không trăng) Mặt Trăng có thể che khuất Mặt Trời đối với người quan sát trên mặt đất. Hình 73 cho thấy bóng tối của Mặt Trăng (T) in lên mặt đất. Các nơi ở trong vùng bóng tối này hoàn toàn không thấy Mặt Trời (có nhật thực toàn phần). Còn các nơi ở trong vùng bán dạ thì thấy nhật thực một phần. Do Mặt Trăng chuyển động và do Trái Đất tự quay nên vết bóng tối và bán dạ này quét trên mặt đất thành một giải. Các địa phương nằm trong giải này sẽ lần lượt thấy nhật thực.



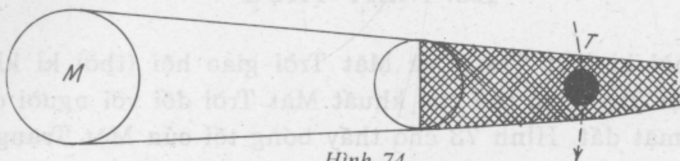

*Hình 73*

Hơn nữa vì khoảng cách từ Mặt Trăng đến Trái Đất cũng như khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời biến thiên (quỹ đạo đều là elip) nên có trường hợp chóp bóng tối của Mặt Trăng không chạm vào mặt đất. Trong trường hợp này các địa phương nằm ở quanh trục bóng tối sẽ thấy nhật thực vành khuyên (Mặt Trời không bị che hết mà còn một vành sáng).

Tóm lại vào đầu tháng Âm lịch (không trăng) trên Trái Đất có thể diễn ra hiện tượng nhật thực. Khi có nhật thực diễn ra thì các nơi khác nhau thấy nhật thực ở các thời điểm khác nhau và thấy không giống nhau. Một lần nhật thực có thể kéo dài đến ba bốn giờ nhưng mỗi nơi quan sát thì thấy được ngắn hơn, nhất là thấy nhật thực toàn phần (dài nhất là bảy phút).

## §69. NGUYỆT THỰC

Vào thời kì trăng tròn, Mặt trăng có thể chuyển động vào bóng tối của Trái Đất và lúc này Mặt Trăng không còn được Mặt Trời dọi sáng nữa, ta nói hiện tượng nguyệt thực xẩy ra (H. 74)



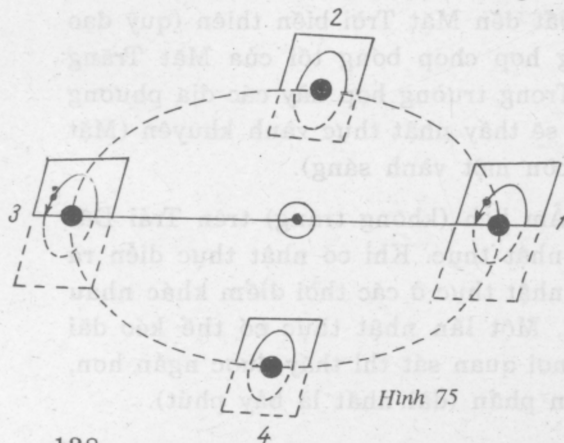

*Hình 74*

Khác với nhật thực, đối với nguyệt thực thì các nơi đang là ban đêm sẽ thấy nguyệt thực diễn ra cùng một lúc và thấy giống nhau. Vì bóng tối của Trái Đất khá lớn nên nguyệt thực toàn phần xẩy ra khá lâu (trên một giờ).

## §70. ĐIỀU KIỆN TỔNG QUÁT XẢY RA NHẬT, NGUYỆT THỰC

Nếu như hai mặt phẳng, bạch đạo và hoàng đạo trùng nhau thì hàng tháng Âm lịch sẽ diễn ra nhật thực và nguyệt thực, song vì chúng nghiêng trên nhau một góc $5^o9$ nên hiện tượng nhật nguyệt thực diễn ra thưa hơn nhiều.

Hình 75 biểu diễn chuyển động của Mặt Trăng và của Trái Đất, cho thấy mặt phẳng quỹ đạo chuyển động của Mặt Trăng giữ nguyên phương trong không gian (thể hiện ở giao tuyến của 2 mặt phẳng hoàng đạo và bạch đạo – được gọi là *tiết tuyến*, luôn luôn song song với nhau). Từ đặc điểm đó, nhật nguyệt thực chỉ có thể



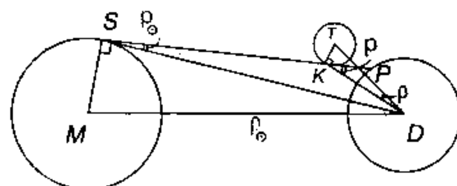

*Hình 75*

xẩy ra (gây ra sự che khuất lẫn nhau) khi hệ Trái Đất – Mặt Trăng ở vị trí 1 và 3, nghĩa là trong một năm chỉ có khả năng xẩy ra hai kì nhật nguyệt thực cụ thể là khi Mặt Trời và Mặt Trăng giao hội hay xung đối trên tiết tuyến.

Thực ra vì 3 thiên thể khảo sát có kích thước khá lớn nên hiện tượng nhật nguyệt thực đã có thể xẩy ra khi Mặt Trời và Mặt Trăng giao hội hay xung đối ở gần tiết tuyến.

## §71. ĐIỀU KIỆN CỤ THỂ XẢY RA NHẬT, NGUYỆT THỰC

### 1. Nhật thực



*Hình 76*

Trên hình 76 M, D, T là tâm của Mặt Trời, Trái Đất và Mặt Trăng cùng nằm trên mặt phẳng vuông góc với mặt phẳng hoàng đạo (mặt phẳng hoàng đạo thẳng góc với mặt phẳng hình vẽ và cắt mặt phẳng này theo đường MD).

Rõ ràng góc TDM là khoảng cách góc từ tâm Mặt Trăng T đến mặt phẳng hoàng đạo. Nếu khoảng cách góc này bé hơn góc giới hạn TDM ấy thì người quan sát ở điểm P đã thấy Mặt Trời bị che một phần.

Vẽ tiếp tuyến chung của 3 thiên thể S K P, với phép tính gần đúng ta có thể xem SD và KD là 2 tiếp tuyến vẽ từ tâm Trái Đất đến đĩa Mặt Trời và đến đĩa Mặt Trăng (do khoảng cách MD rất lớn). Ta có liên hệ giữa các góc :

$$\begin{aligned} TDM &= TDK + KDS + SDM \\ &= \rho + PKD - PSD + \rho_{\odot} \\ &= \rho + p - p_{\odot} + \rho_{\odot} \end{aligned}$$

Trong đó : $\rho$ là bán kính góc của Mặt Trăng

$\rho_{\odot}$ là bán kính góc của Mặt Trời

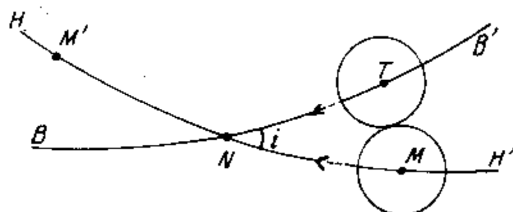
p là thị sai của Mặt Trăng

$p_{\odot}$ là thị sai của Mặt Trời

Thay trị số của các đại lượng này ta có góc :

$$TDM = 15'5 + 57' - 9" + 16'3"$$
$$= 88'7"$$

Như vậy, nhật thực đã có thể xẩy ra khi khoảng cách góc địa tâm (nhìn từ tâm Trái Đất) giữa tâm Mặt Trăng và tâm Mặt Trời bé hơn 88'7".



Hình 77

Mặt khác do Mặt Trời di chuyển trên hoàng đạo và Mặt Trăng di chuyển trên bạch đạo và hai mặt phẳng này nghiêng trên nhau một góc $5^o9$ = i nên khi ta thấy đĩa Mặt Trời và đĩa Mặt Trăng tiếp giáp nhau (có góc địa tâm TDM = 88'7") thì chúng ở cách tiết điểm N (một trong hai giao điểm của hoàng đạo và bạch đạo) một khoảng NM (H.77).

Độ dài của cung NM có thể tính theo công thức lượng giác cầu đối với tam giác cầu NMT vuông góc tại M.

$$\text{tg TM} = \text{sinMNtgi}$$

$$\text{tg } 88'7" = \text{sinMNtg}5^o9$$

$$\text{Từ đó sinMN} = \frac{\text{tg}88'7"}{\text{tg}5^o9}$$

$$\text{và MN} = 16^o5$$

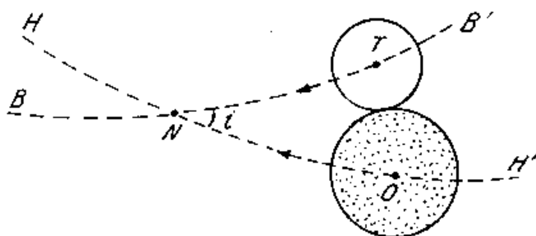
Như vậy nhật thực có thể xẩy ra khi Mặt Trời di chuyển trên cung MN = $16^o5$ và dĩ nhiên cũng có thể xẩy ra cả phía bên kia tiết điểm N, nghĩa là có thể xẩy ra khi nó di chuyển trên cung MM' = $33^o$ trong khoảng thời gian chừng 34 ngày. Trong

khoảng thời gian này có ít nhất một lần không trăng và có thể có đến 2 lần. Như vậy quanh mỗi tiết điểm có ít nhất 1 lần nhật thực, nhiều nhất là 2 lần và như vậy trong một năm có ít nhất 2 lần và nhiều nhất là 4 lần nhật thực.

Thực ra trong một năm có thể có nhiều nhất là 5 lần nhật thực bởi vì tiết điểm không nằm nguyên chỗ mà dịch chuyển trên hoàng đạo theo chiều ngược với chiều chuyển động của Trái Đất, từ đó khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp Mặt Trời đi qua một tiết điểm xác định ngắn hơn 365,25 ngày mà chỉ vào khoảng 346 ngày. Như vậy, nếu một năm nào đó có kì nhật thực đầu tiên xẩy ra vào ngày đầu tháng giêng, kì nhật thực thứ hai sẽ xẩy ra vào trước giữa năm (trước 10 ngày) và gần cuối năm sẽ có kì thứ ba bắt đầu diễn ra.

## 2. Nguyệt thực

Trên hình 78, O là tâm của vòng bóng tối của Trái Đất có bán kính tiết diện khoảng 41' (ở khoảng cách của Mặt Trăng). Nguyệt thực xẩy ra khi Mặt Trăng (T) đi vào bóng tối của Trái Đất. Cũng lập luận như ở phần tính nhật thực, nguyệt thực đã có thể xẩy ra khi khoảng cách góc địa tâm giữa tâm bóng tối O và tâm Mặt Trăng T bằng bán kính bóng tối + bán kính góc của Mặt Trăng = 41' + 15'5 = 56'5. Từ tam giác cầu NOT vuông góc tại T ta có :




*Hình 78*

$$\sin NO = \text{tg } TO/\text{tg} i = \text{tg}56'5/\text{tg}5^\circ9$$

$$\text{do đó } NO = 10^\circ6$$

Như vậy nguyệt thực có thể xẩy ra khi bóng Trái Đất di chuyển quanh mỗi tiết điểm trên một cung dài 21°2'. Bóng Trái Đất di chuyển trên cung này mất khoảng 22 ngày mà tuần trăng dài 29,5 ngày nên quanh một tiết điểm chỉ có thể xẩy ra một lần nguyệt thực hay không có lần nào. Nếu một năm nào đó kì nguyệt thực đầu tiên xẩy ra vào ngày đầu năm thì phần giữa năm có thể có kì thứ hai và cuối năm có thể có kì thứ ba, tóm lại trong một năm có tối đa là 3 lần nguyệt thực và tối thiểu không có lần nào.

## §72. CHU KÌ NHẬT, NGUYỆT THỰC

Theo lập luận ở tiết 72 thì trong một năm D.L số nhật nguyệt thực tối đa là 7 (5 nhật thực + 2 nguyệt thực hoặc 4 nhật thực + 3 nguyệt thực) và tối thiểu là 2 nhật thực.

Hiện tượng nhật nguyệt thực là hiện tượng che khuất lẫn nhau do Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất và Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời. Vì hai thiên thể này chuyển động với chu kì hoàn toàn xác định nên hiện tượng nhật nguyệt thực cũng diễn ra theo một trật tự và chu kì xác định. Chu kì này bằng bội số chung nhỏ nhất của ba chu kì thành phần (chu kì Tuần trăng = 29,53 ngày, tháng tiết điểm – chu kì Mặt Trăng trở lại một tiết điểm xác định = 27,21 ngày và năm tiết điểm = 346,62 ngày), là bằng 6585,32 ngày (hay 18 năm 11,32 ngày).

Trong mỗi chu kì có 70 lần nhật và nguyệt thực (41 nhật thực + 29 nguyệt thực). Tuy số nguyệt thực trong mỗi chu kì diễn ra ít hơn nhật thực nhưng ở mỗi nơi trên Trái Đất người ta thấy nguyệt thực được nhiều hơn.

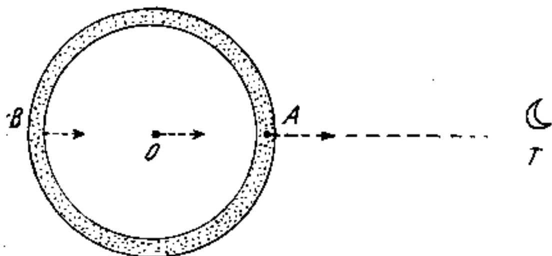
# III - THỦY TRIỀU

## §73. HIỆN TƯỢNG THỦY TRIỀU

Thủy triều là hiện tượng mực nước ở ven biển, cửa sông lên xuống theo qui luật xác định với chu kì $24^h52^{ph}$. Chu kì này đúng bằng khoảng thời gian giữa hai lần Mặt Trăng liên tiếp qua kinh tuyến trên của mỗi nơi. Điều đó cho phép ta nghĩ tới nguyên nhân gây ra thủy triều trước hết là do lực hấp dẫn của Mặt Trăng.

**1. Giải thích**

Để đơn giản, ta giả thiết Trái Đất hình cầu nhẵn có bao phủ một lớp nước (H.79). Lực hấp dẫn của Mặt Trăng tác dụng lên Trái Đất đặt tại tâm của Trái Đất O và gây nên gia tốc hướng về phía Mặt Trăng $g_o = G\dfrac{m}{r^2}$ trong đó m là khối lượng của Mặt Trăng và r là khoảng cách từ tâm Mặt Trăng đến tâm Trái Đất.



*Hình 79*

Rõ ràng đối với lớp nước ở vùng A (ở gần Mặt Trăng hơn) có gia tốc hút lớn hơn và ở vùng B có gia tốc bé hơn.

$$g_A = G\frac{m}{(r - R)^2} \; ; \; g_B = G\frac{m}{(r + R)^2}$$

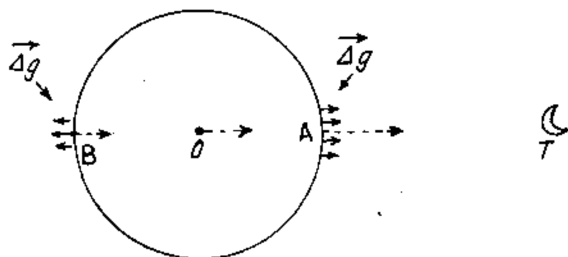
trong đó R là bán kính của Trái Đất.

Hiệu số gia tốc giữa vùng A và tâm O là :

$$\Delta g = g_A - g_o = Gm\left(\frac{1}{(r - R)^2} - \frac{1}{r^2}\right)$$

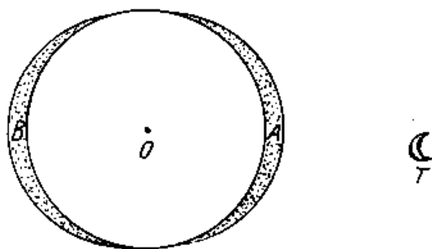
$$= Gm\frac{2rR - R^2}{(r - R)^2 \cdot r^2}$$

vì R<< r nên $\Delta g = g_A - g_o = \frac{2Gm}{r^3}$ được gọi là gia tốc thủy triều. Vectơ gia tốc này có hướng từ Trái Đất đến Mặt Trăng (H.80) nên nước ở đây (vùng A) được nâng lên. Nếu tính gia tốc thủy triều ở vùng B thì ta sẽ có $g_B - g_o \approx -\frac{2Gm}{r^3}$ nghĩa là vectơ gia tốc này có hướng ra xa Mặt Trăng, kết quả là nước ở vùng B cũng được nâng lên.




*Hình 80*

Như vậy do lực hấp dẫn của Mặt Trăng mà lớp nước bao quanh Trái Đất có dạng elipxôit (H.81)




*Hình 81*

Vì Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất mỗi ngày khoảng $13^o$ mà Trái Đất quay mỗi ngày một vòng nên thực ra mặt đất đã trượt dưới lớp nước, kết quả là mỗi nơi trên mặt đất đã lần lượt có nước lên và nước xuống (thủy triều).

Dĩ nhiên là Mặt Trời cũng gây ra thủy triều nhưng vì Mặt Trời ở quá xa Trái Đất (so với Mặt Trăng) nên gia tốc thủy triều do Mặt Trời gây ra nhỏ hơn gia tốc của Mặt Trăng trên

2 lần. Phối hợp giữa gia tốc thủy triều của Mặt Trăng và Mặt Trời ta dễ dàng biết được thủy triều lên xuống mạnh nhất vào các ngày không trăng và trăng tròn, yếu nhất vào các ngày huyền.

Cần biết rằng lí luận về hiện tượng thủy triều như trên chỉ có tính chất lí thuyết. Trong thực tế chế độ thủy triều ở từng nơi diễn ra phức tạp trước hết là do cấu tạo địa thế làm cản trở sự lưu thông của nước.

Hiện tượng triều lên xuống cũng diễn ra đối với "đại dương khí quyển" và đối với cả vỏ Trái Đất nữa (vì vỏ Trái Đất không tuyệt đối rắn). Người ta tính được vỏ Trái Đất (ở từng nơi nhất định) được nâng lên và hạ xuống hàng ngày với biên độ vào khoảng vài đêximét.

**2. Thuyết tiến hóa triều**

Lực triều do Trái Đất tác dụng lên Mặt Trăng mạnh gấp 20 lần so với lực triều của Mặt Trăng tác dụng lên Trái Đất. Tác dụng lâu dài của lực triều dẫn tới sự biến đổi về động lực học của hệ Trái Đất – Mặt Trăng.

a) Lực ma sát xuất hiện do có sự chuyển động tương đối giữa lớp nước và vỏ Trái Đất làm cho Trái Đất quay chậm dần (ngày càng dài thêm ra – ước tính dài thêm 0,002 giây/thế kỉ).

b) Do lực triều Trái Đất tác dụng lên Mặt Trăng mà Mặt Trăng đã quay chậm dần và đã đạt tới sự đồng bộ giữa chu kì tự quay và chu kì chuyển động quanh Trái Đất (bằng 27,32 ngày như hiện nay).

c) Coi hệ Trái Đất – Mặt Trăng là kín, tuân theo định luật bảo toàn mômen động lượng. Do mômen quay của Mặt Trăng, cũng như mômen quay của Trái Đất giảm nên mômen chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất phải tăng. Mặt Trăng liên tục chuyển động theo đường xoắn ốc ra xa Trái Đất dần. Trong tương lai xa khi ngày và tháng dài bằng nhau thì sự biến đổi về mặt động lực học sẽ chấm dứt (ước tính sau $2{,}6.10^{10}$ năm, lúc đó ngày dài bằng 50 lần ngày hiện nay).

## BÀI TẬP CHƯƠNG VIII

1. Một vệ tinh nhân tạo chuyển động tròn quanh Trái Đất với chu kì 7 ngày. Biết mặt phẳng quỹ đạo của vệ tinh trùng với mặt phẳng bạch đạo. Hãy tính

a) Chu kì giao hội của vệ tinh với Mặt Trăng.

b) Khoảng cách từ vệ tinh đến mặt đất.

2. Hãy mô tả các pha nhìn thấy Trái Đất đối với một người đứng trên Mặt Trăng.

3. Năm 1941 có hai lần nhật thực và hai lần nguyệt thực : 13–III nguyệt thực một phần, 27–III nhật thực vành khuyên, 5–IX nguyệt thực một phần, 21–IX nhật thực toàn phần. Hỏi vào năm nào gần đấy nhất 4 lần nhật nguyệt thực như trên lại xảy ra và xảy ra vào các ngày tháng nào ?

4. Tính (gần đúng) diện tích mặt đất nằm trong chùy bóng tối của Mặt Trăng biết khi nhật thực toàn phần thì Mặt Trời ở thiên đỉnh và thị sai Mặt Trăng bằng 1 độ.

5. Biết Mặt Trăng ở viễn điểm xa hơn ở cận điểm $\frac{1}{9}$ khoảng cách. Hỏi lực thủy triều xảy ra trên mặt đất khi Mặt Trăng ở cận điểm lớn hơn khi nó ở viễn điểm là bao nhiêu ?

6. Vào một ngày Mặt Trời (MT), Mặt Trăng (T), Hỏa Tinh (H) và Mộc Tinh (M) có tọa độ xích đạo như trong bảng sau :

| | | |
|---|---|---|
| MT | $0^h$ | $0^o$ |
| T | $6^h$ | $20^o$ |
| H | $14^h$ | $10^o$ |
| M | $6^h$ | $20^o$ |

Hãy nêu khả năng nhìn thấy Mặt Trăng, Hỏa Tinh và Mộc Tinh trong đêm hôm đó. Lúc chúng qua kinh tuyến trên thì chúng có khoảng cách đỉnh là bao nhiêu ? Người quan sát đứng ở nơi có độ vĩ $20^o$.

# *Chương IX*
# PHƯƠNG PHÁP THIÊN VĂN VẬT LÍ

## §74. NHIỆM VỤ CỦA THIÊN VĂN VẬT LÍ

Thiên văn vật lí là ngành thiên văn chuyên nghiên cứu lí tính của các thiên thể. Nó mới được phát triển ở thế kỉ thứ XX nhờ có sự phát triển mạnh mẽ của Vật lí học và kĩ thuật hiện đại.

Từ những kết quả quan trắc phổ bức xạ của các thiên thể, người ta có khả năng nghiên cứu lí tính của chúng thông qua các định luật vật lí. Những phương pháp quan trắc vật lí được ứng dụng rộng rãi trong thiên văn học là phương pháp nhiệt điện, quang điện, phân tích quang phổ, phân tích phổ vô tuyến.

Ngoài những quan trắc bức xạ của các thiên thể được thực hiện trên mặt đất, ngày nay người ta còn sử dụng các tên lửa vũ trụ, các vệ tinh nhân tạo và các trạm vũ trụ khác để thu bức xạ của các thiên thể từ bên ngoài khí quyển của Trái Đất.

Có thể nói rằng việc thu bức xạ của các thiên thể và phân tích các kết quả quan trắc để xác định lí tính của chúng là nhiệm vụ của các nhà thiên văn vật lí thực nghiệm. Còn các nhà thiên văn vật lí lí thuyết lại chuyên nghiên cứu phần vật chất mà không thể trực tiếp thu được những tín hiệu bức xạ của chúng chẳng hạn như trạng thái của vật chất trong lòng các sao.

Mục đích của chương này là giới thiệu một số hiểu biết về lí thuyết cũng như thực nghiệm phân tích các kết quả quan

sát nhằm chuẩn bị kiến thức cho việc nghiên cứu phần thiên văn vật lí, phần có vị trí quan trọng trong thiên văn học hiện đại.

## §75. ĐẶC TÍNH CỦA BỨC XẠ VÀ CƠ SỞ CỦA PHÉP PHÂN TÍCH QUANG PHỔ

Phân tích bức xạ hay nói chính xác hơn phân tích phổ bức xạ của các thiên thể là phương pháp quan trọng bậc nhất để tìm hiểu các đặc tính vật lí của chúng.

### 1. Bức xạ nhiệt

Các thiên thể nóng sáng đều bức xạ năng lượng theo đủ loại bước sóng trong thang sóng điện từ và được gọi là bức xạ nhiệt. Cần biết rằng cường độ bức xạ của các vùng phổ khác nhau (các khoảng bước sóng điện từ khác nhau) phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn bức xạ. Ở nhiệt độ thấp (dưới 1000K) thì bức xạ chủ yếu là hồng ngoại và vô tuyến. Phổ bức xạ sẽ thay đổi khi nhiệt độ thay đổi.

Ứng với một nhiệt độ xác định thì vật bức xạ mạnh nhất ở vùng phổ xác định và ta thấy vật có màu của vùng phổ ấy. Chẳng hạn ở nhiệt độ 2000 – 3000K, vật có màu đỏ, ở 4000 – 5000K vật có màu vàng... Song cũng cần biết rằng, sự phân bố chính xác về năng lượng và dạng cụ thể của phổ bức xạ còn phụ thuộc vào thành phần cấu tạo hóa học và các trạng thái vật lí khác của đối tượng bức xạ.

### 2. Bức xạ của vật đen tuyệt đối

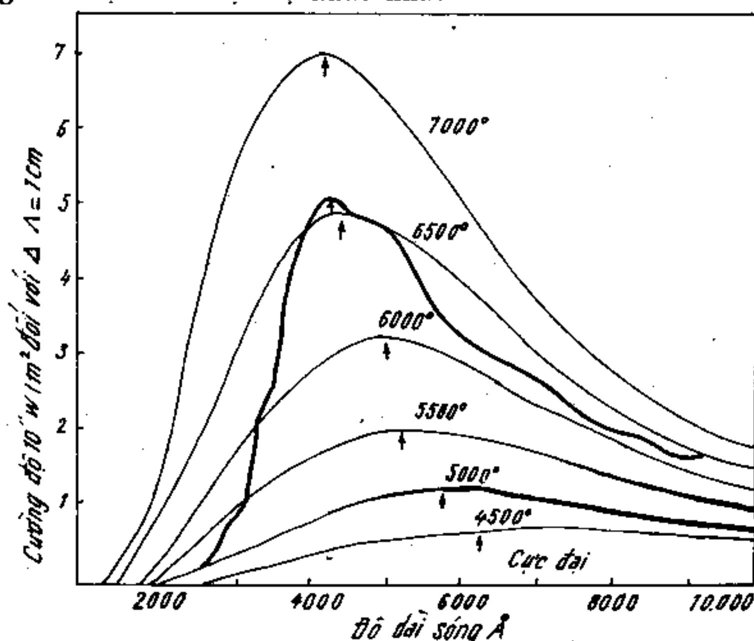
Các nhà vật lí đã rút ra những định luật về bức xạ nhiệt của một vật đặc biệt, được gọi là vật đen tuyệt đối.

Bức xạ của một vật đen tuyệt đối có phổ liên tục, trong đó công suất bức xạ phụ thuộc vào bước sóng theo công thức Plăng :

$$\varepsilon_{\lambda} d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda \qquad (9.1)$$

Công suất bức xạ $\varepsilon_{\lambda}$ (được xác định qua tích số ($\varepsilon_{\lambda} d\lambda$) là năng lượng bức xạ của $1m^2$ bề mặt của vật theo mọi phương trong 1 giây và trong khoảng phổ có bước sóng từ $\lambda$ đến $\lambda + d\lambda$. Nếu đem chia (9.1) cho $\pi$ thì ta được độ chói của mặt vật bức xạ.

Sự phân bố năng lượng trong phổ bức xạ của vật đen tuyệt đối mô tả theo công thức (9.1) được biểu diễn trên đồ thị (H. 82) ứng với một số nhiệt độ khác nhau.




*Hình 82.* Phân bố năng lượng trong quang phổ Mặt Trời (đường đậm nét) và các đối tượng khác theo công thức Plăng

Ta thấy rằng mỗi đường cong Plăng có cực đại ứng với bước sóng xác định. Vin đã rút ra được định luật sau : Nhiệt độ càng tăng thì cực đại của bức xạ vật đen tuyệt đối càng dịch về phía sóng ngắn của phổ bức xạ. Định luật này được gọi là định luật Vin và được biểu diễn qua công thức ;

$$\lambda_{max} T = b, \qquad (9.2)$$

trong đó b là hằng số Vin $= 2,9.10^{-3}$m độ.

Khi nhiệt độ tăng thì chẳng những màu của nó thay đổi mà công suất bức xạ của nó cũng thay đổi. Xtêphan và Bônxman đã rút ra được định luật sau : Công suất bức xạ của một vật đen lí tưởng tỉ lệ với lũy thừa bậc bốn của nhiệt độ của nó :

$$\varepsilon = \sigma T^4 \qquad (9.3)$$

trong đó $\varepsilon$ là công suất bức xạ, $\sigma$ là hằng số Xtêphan – Bônxman $\sigma = 5,67.10^{-8}$ W/m$^2$.độ$^4$.

Chú ý thêm rằng từ điểm cực đại trên các đường cong Plăng (H. 82) thì khả năng bức xạ giảm theo hai phía với nhịp độ khác nhau. Về phía sóng dài (phía phải) có mức giảm rất chậm. Đặc điểm này được phản ánh rõ trong công thức Plăng, vì khi bước sóng $\lambda$ lớn thì :

$$e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT}$$

và công thức (9.1) có dạng :

$$\varepsilon_\lambda = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT \qquad (9.4)$$

Như vậy trong vùng sóng dài thì công suất bức xạ tỉ lệ với nhiệt độ. Công thức này được ứng dụng khi nghiên cứu đặc tính của các bức xạ vô tuyến vũ trụ với bước sóng < 1cm.

Từ các công thức (9.2), (9.3), (9.4) ta có khả năng xác định nhiệt độ của các thiên thể khi biết những đại lượng tương ứng ($\lambda_{max}$ , $\varepsilon$ , $\varepsilon_\lambda$).

## §76. QUANG PHỔ VẠCH VÀ ỨNG DỤNG CỦA NÓ TRONG THIÊN VĂN VẬT LÍ

Các khí loãng ở trạng thái nóng (chẳng hạn như các tinh vân trong dải Ngân Hà) bức xạ quang phổ vạch (gồm những vạch sáng có màu ứng với các bước sóng xác định).

Sự phân bố các vạch và số lượng các vạch phụ thuộc thành phần cấu tạo hóa học và nhiệt độ chất khí được khảo sát. Thực nghiệm còn chứng tỏ rằng, nguyên tử nào đó có khả năng phát xạ ứng với bước sóng nào đó thì cũng có khả năng hấp thụ bức xạ bên ngoài có cùng bước sóng ấy. Rõ ràng trong trường hợp chất khí loãng ở trạng thái nguội nằm trên đường truyền bức xạ của một vật nóng (chẳng hạn như khí quyển của các sao) thì các nguyên tử, phân tử của chất khí này hấp thụ một phần năng lượng bức xạ của vật nóng, tạo thành những vạch hấp thụ (vạch tối) trên nền sáng của quang phổ liên tục của vật nóng.

Trong thiên văn vật lí người ta tận dụng cả ba loại quang phổ trên (liên tục, vạch, hấp thụ).

Qua quang phổ liên tục người ta suy ra nhiệt độ của thiên thể. So sánh quang phổ vạch hay quang phổ hấp thụ của một thiên thể với quang phổ vạch của các nguyên tố hóa học đã biết, người ta suy ra thành phần cấu tạo của thiên thể. Nếu nghiên cứu kĩ hơn đặc điểm của các vạch người ta còn có thể đoán nhận về nhiệt độ, áp suất, mật độ của các thành phần cấu tạo, cường độ từ trường... của đối tượng nghiên cứu.

Trong quang phổ của đa số thiên thể, đặc biệt của hầu hết các thiên hà có những vạch đậm nét của nguyên tố hiđrô (4 vạch được kí hiệu như sau : $H_\alpha$ với bước sóng $\lambda = 6563Å$, $H_\beta$ ($\lambda = 4861Å$), $H_\gamma$ ($\lambda = 4340$ Å), và $H_\delta$ ($\lambda = 4102$ Å). Ngoài ra còn có các vạch của các nguyên tố hêli, natri, canxi... và của một số hợp chất phân tử.

Bằng cách nghiên cứu chi tiết các vạch người ta còn có thể phát hiện mức độ iôn hóa của các nguyên tử vật chất. Chẳng

hạn trong quang phổ của nhật hoa (Mặt Trời) có các nguyên tử sắt, kền, acgôn, canxi ở trạng thái iôn hóa cao độ (bị mất 10 ÷ 15 điện tử).

Bảng III thống kê chỉ số của các nguyên tố hóa học tồn tại phổ biến nhất trong vũ trụ (so với nguyên tố hiđrô với quy ước số nguyên tử hiđrô có chỉ số = 1000000).

*Bảng III*

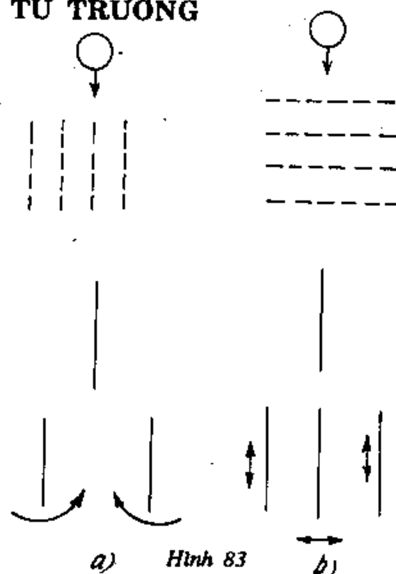
| Nguyên tố | Chỉ số | Nguyên tố | Chỉ số |
|---|---|---|---|
| Hiđrô | 1 000 000 | Lưu huỳnh | 20 |
| Hêli | 100 000 | Manhê | 20 |
| Ôxi | 700 | Sắt | 6 |
| Cacbon | 400 | Natri | 2 |
| Nitơ | 70 | Nhôm | 2 |
| Silic | 60 | Acgon | 2 |
| | | Canxi | 1 |

## §77. XÁC ĐỊNH TỪ TRƯỜNG

Vạch quang phổ bức xạ của các nguyên tử tồn tại trong từ trường bị tách ra thành một số vạch. Nếu các đường cảm ứng từ nằm song song với tia nhìn thì vạch quang phổ bị tách ra làm đôi và ánh sáng trong mỗi vạch bị phân cực tròn theo chiều ngược nhau (H.83a).

Nếu các đường cảm ứng từ nằm thẳng góc với tia nhìn thì vạch bị tách ra làm ba và ánh sáng bị phân cực phẳng (H.83b)

Hiện tượng tách vạch trên được gọi là hiệu ứng Diman.



Hình 83

Lí thuyết và thực nghiệm cho biết khoảng tách giữa các vạch ($\Delta\lambda$) tỉ lệ thuận với cảm ứng từ.

Như vậy ta có thể xác định được cường độ cảm ứng từ và phương của các đường cảm ứng từ của các thiên thể qua quan sát số vạch và khoảng cách $\Delta\lambda$ giữa chúng.

Kết quả quan sát chứng tỏ rằng ở hầu hết các thiên thể đều có từ trường. Chẳng hạn như vết đen Mặt Trời có cảm ứng từ với cường độ đến khoảng $10^{-2}$ Tesla.

## §78. SỰ DỊCH CHUYỂN ĐÔPLE CỦA CÁC VẠCH QUANG PHỔ

Giả sử khi nguồn sáng nằm yên đối với người quan sát thì sóng ánh sáng thu được có tần số $\nu_o$. Nếu có sự dịch chuyển tương đối giữa nguồn sáng và người quan sát với vận tốc v thì tần số thu được sẽ khác trước và bằng $\nu$ thỏa mãn đẳng thức :

$$\nu = \nu_o \left(1 - \frac{v}{c}\right) \qquad (9.5)$$

trong đó v có giá trị dương khi khoảng cách giữa nguồn và người quan sát tăng, trường hợp ngược lại, v có giá trị âm.

Xuất phát từ tiên đề vận tốc ánh sáng c bất biến ta có thể viết

$$c = \lambda\nu = \lambda_o\nu_o \qquad (9.6)$$

trong đó $\lambda$ là bước sóng ứng với tần số $\nu$

$\lambda_o$ - - - - - - - $\nu_o$

Từ (9.5) và (9.6) ta có :

$$\lambda = \frac{\lambda_o\nu_o}{\nu} = \frac{\lambda_o}{1 - \frac{v}{c}}, \text{ vì } v << c$$

nên $$\lambda = \lambda_o \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

Từ đó $\lambda - \lambda_o = \Delta\lambda = \lambda_o \frac{v}{c}$ hay $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c}$

Độ biến thiên bước sóng $\Delta\lambda$ được gọi là độ dịch chuyển Đôple.

Hiệu ứng Đôple có vị trí quan trọng trong thiên văn học vì nó cho phép ta khảo sát sự chuyển động của các thiên thể. Thí dụ : Bằng các phương pháp khác đã học ta đã tính được vận tốc chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời vào khoảng 30 km/s. Từ đó các vạch quang phổ của các sao nằm trên hướng chuyển động của Trái Đất ở thời điểm quan sát phải dịch về phía sóng ngắn (tím) với $\Delta\lambda$ thỏa mãn :

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c}$$

Đối với tia sáng màu lam với $\lambda_o$ = 5 000 Å thì độ dịch xác định được là 0,5 Å. Đưa giá trị của $\Delta\lambda$ và $\lambda_o$ vào đẳng thức trên ta thu được v = 30 km/s.

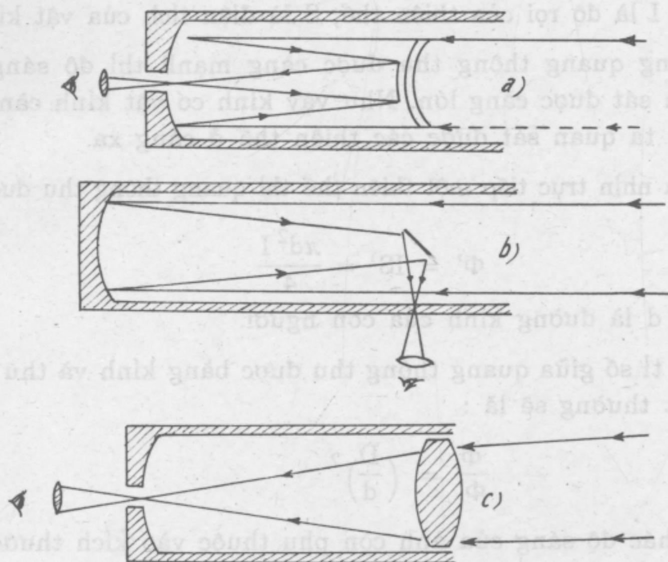
Hiệu ứng Đôple cũng cho phép ta xác định được sự quay của các thiên thể ở gần, như Mặt Trời, và sự chuyển động của một thiên thể quanh thiên thể khác.

## §79. KÍNH THIÊN VĂN VÀ ĐẶC TÍNH CỦA NÓ

Kính thiên văn là loại kính dùng để quan sát các thiên thể. Tùy theo từng yêu cầu nghiên cứu mà kính được lắp thêm những bộ phận thích hợp. Trong tiết này ta hãy xét cấu tạo và đặc tính cơ bản nhất của một kính thiên văn quan sát (nhìn rõ vật ở xa).

Bộ phận cơ bản nhất của kính là vật kính và thị kính. Vật kính hứng ánh sáng từ các thiên thể truyền tới và tạo ảnh của chúng ở mặt phẳng tiêu. Ta quan sát ảnh qua thị kính. Vật kính được gắn chặt vào đầu ống còn thị kính có thể di chuyển ở đầu kia của ống kính. Khi muốn chụp ảnh hay thu quang phổ của các thiên thể thì không cần thị kính. Trong trường hợp này, một

bộ phận mang kính ảnh hay khe kính quang phổ được đặt ở mặt phẳng tiêu của vật kính.




*Hình 84*

Tùy theo đặc điểm của vật kính mà kính được gọi là kính phản quang (H.84a và 84b) hay chiết quang (H.84c)

**1. Độ bội giác**

Độ bội giác K của một kính có trị số bằng tỉ số giữa tiêu cự F của vật kính và tiêu cự f của thị kính :

$$K = \frac{F}{f}$$

Mỗi kính thiên văn có vật kính cố định. Ta có thể sử dụng các thị kính có tiêu cự khác nhau để tạo ảnh có độ lớn khác nhau nghĩa là có độ bội giác khác nhau.

**2. Độ rọi của ảnh**

Đường kính D và tiêu cự F của vật kính là đặc trưng cơ bản của kính thiên văn. Đường kính của vật kính càng lớn thì quang thông $\phi$ thu được càng lớn :

$$\Phi = IS = \frac{\pi D^2 I}{4}$$

trong đó I là độ rọi của thiên thể, S là diện tích của vật kính.

Rõ ràng quang thông thu được càng mạnh thì độ sáng của ảnh quan sát được càng lớn. Như vậy kính có vật kính càng lớn cho phép ta quan sát được các thiên thể ở càng xa.

Nếu ta nhìn trực tiếp một thiên thể thì quang thông thu được là:

$$\Phi' = IS' = \frac{\pi d^2 I}{4}$$

trong đó d là đường kính của con ngươi.

Từ đó tỉ số giữa quang thông thu được bằng kính và thu được bằng mắt thường sẽ là :

$$\frac{\Phi}{\Phi'} = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

Mặt khác độ sáng của ảnh còn phụ thuộc vào kích thước của nó. Độ sáng tỉ lệ nghịch với diện tích của ảnh, cũng là tỉ lệ nghịch với bình phương độ bội giác.

Như vậy tỉ số giữa độ sáng của ảnh của một thiên thể khi nhìn qua một kính thiên văn (có đường kính của vật kính D, tiêu cự F và thị kính có tiêu cự f) với độ sáng khi nhìn trực tiếp bằng mắt thường sẽ là :

$$\text{Tỉ số độ rọi} = \left(\frac{D}{d}\cdot\frac{f}{F}\right)^2$$

Biểu thức này cho thấy với một kính thiên văn nếu ta lần lượt sử dụng các thị kính có tiêu cự f nhỏ dần thì ảnh sẽ to dần nhưng độ sáng của ảnh giảm dần.

### 3. Năng suất phân giải

Năng suất phân giải là đại lượng có trị số bằng khoảng cách góc giới hạn giữa hai điểm của vật mà mắt ta còn phân biệt được. Theo lí thuyết nhiễu xạ thì yêu cầu này thỏa mãn khi vân

sáng nhiễu xạ trung tâm của điểm này trùng với vân tối thứ nhất của điểm kia. Công thức tính năng suất phân giải e theo bước sóng quan sát $\lambda$ và đường kính D của vật kính là :

$$e = 1{,}22\,\frac{\lambda}{D}\ \text{rad.} \qquad (9.7)$$

Nếu e tính bằng giây cung thì

$$e'' = 206265 . 1{,}22\,\frac{\lambda}{D} = 2{,}5 . 10^{5}\,\frac{\lambda}{D}$$

Ví dụ bước sóng nhạy cảm nhất đối với mắt là :

$\lambda = 5.10^{-4}$mm và vật kính có D = 80 mm thì

$$e'' = \frac{2{,}5 . 10^{5} . 5 . 10^{-4}}{80} = \frac{120''}{80} = 1''5.$$

Kính phản quang của Liên Xô cũ có

D = 6m, thì e = 0''022

Người mắt tốt có thể phân giải được 2 điểm ở cách nhau 2'. Nếu nhìn qua kính có độ bội giác K và năng suất phân giải e thì ứng với góc nhìn trực tiếp e sẽ phóng đại thành Ke. Vậy độ bội giác K cần thiết của một kính để mắt ta có thể phân biệt được hai điểm ở cách nhau một khoảng bằng năng suất phân giải e của kính đó phải thỏa mãn bất đẳng thức :

$$Ke \geqslant 2' \rightarrow K \geqslant \frac{2'}{e}$$

Thực tế quan sát chứng tỏ rằng, đối với một kính có năng suất phân giải e thì độ bội giác thích hợp nhất (quan sát ảnh tốt nhất) là

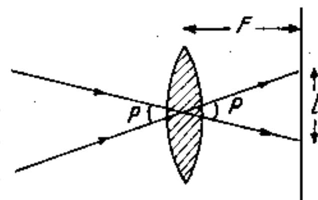
$$K = \frac{2'}{e}$$

Mặt khác vì đã biết $e = \dfrac{120''}{D(mm)} = \dfrac{2'}{D(mm)}$

nên ta có : K = D(mm).

Tóm lại độ bội giác thích hợp nhất cho việc quan sát thiên thể bằng mắt có trị số bằng đường kính của vật kính tính bằng milimet.

### 4. Tỉ xích của ảnh



Hình 85

Khi chụp ảnh các thiên thể người ta thường chú ý đến tỉ xích của ảnh trên mặt phẳng tiêu. Tỉ xích này thường được biểu diễn qua đơn vị góc ứng với 1mm. Để tính tỉ xích của ảnh ta cần biết khoảng cách l giữa hai điểm của ảnh ứng với khoảng cách góc $\rho$ (H.85) :

$$l = 2F \cdot \operatorname{tg} \frac{\rho}{2}$$

Ứng với góc $\rho$ bé ta có $l = F\rho$,

Nếu $\rho$ được tính theo độ thì $l = F \cdot \frac{\rho}{57^\circ 3}$

Như vậy, nếu biết bán kính góc $\rho$ của ảnh thì ta tính được l và từ đó tính được tỉ xích $\mu$ của ảnh theo công thức :

$$\mu = \frac{\rho}{l}$$

Biết đường kính góc của Mặt Trời và Mặt Trăng vào khoảng $0^\circ5$. Nếu ta sử dụng kính có F = 1 000mm thì đường kính của ảnh trên mặt phẳng tiêu l tính được vào khoảng 10mm và tỉ xích của ảnh là :

$$\mu = \frac{0^\circ 5}{10} = 0^\circ 05/\text{mm}$$

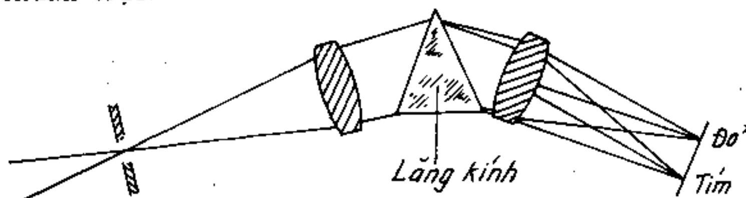
## §80. KÍNH THIÊN VĂN QUANG PHỔ

Nghiên cứu lí tính của các thiên thể qua việc phân tích phổ bức xạ của chúng là phương pháp cơ bản của thiên văn vật lí. Kính thiên văn quang phổ cho phép ta quan sát hay chụp ảnh

phổ của các thiên thể. Bộ phận tạo quang phổ có thể là lăng kính hay cách tử.

## 1. Kính thiên văn quang phổ lăng kính

Lăng kính có thể đặt trước vật kính (kính quang phổ lăng kính vật kính) hay sau vật kính (kính quang phổ lăng kính chuẩn trực). Hình 86 là sơ đồ đơn giản của một kính quang phổ lăng kính chuẩn trực.




*Hình 86*

Kính thiên văn quang phổ lăng kính tạo quang phổ với những đặc điểm sau :

- Một quang phổ duy nhất (tia tím lệch hơn tia đỏ)
- Phần phổ tử ngoại bị lăng kính hấp thụ
- Độ tán sắc góc phụ thuộc vào bước sóng

$$\frac{dD}{d\lambda} = \frac{2\sin\frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\frac{A}{2}}}\frac{B}{(\lambda - \lambda_o)^2}$$

trong đó :

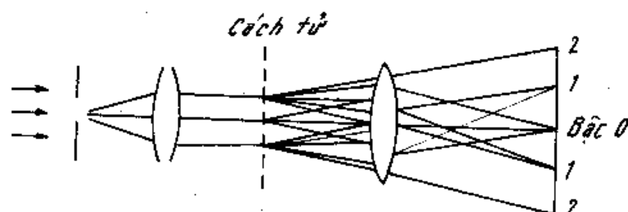
A và n là góc chiết quang và chiết suất của lăng kính tại vùng bước sóng $\lambda$. B và $\lambda_o$ là hai hằng số.

Ta thấy rằng độ tán sắc càng lớn khi bước sóng quan sát càng ngắn. Rõ ràng loại kính này cho phép ta nghiên cứu tốt phần sóng ngắn của quang phổ.

## 2. Kính thiên văn quang phổ cách tử

Bộ phận tạo quang phổ của kính này là cách tử. Hình 87 là sơ đồ đơn giản của kính quang phổ cách tử.

Loại kính này tạo quang phổ với các đặc điểm sau :




Hình 87

– Một loạt quang phổ nằm đối xứng qua phổ bậc 0. Trong mỗi quang phổ (trừ phổ bậc 0) thì tia đỏ lệch mạnh hơn tia tím.

– Có cả phần phổ tử ngoại.

Độ tán sắc không phụ thuộc bước sóng :

$$\frac{dD}{d\lambda} = \pm \frac{m}{a + b}$$

trong đó m là bậc của quang phổ. $\frac{1}{a + b}$ là hằng số của cách tử.

Ta thấy rằng độ tán sắc càng lớn khi cách tử có hằng số càng lớn và khi sử dụng quang phổ bậc càng cao.

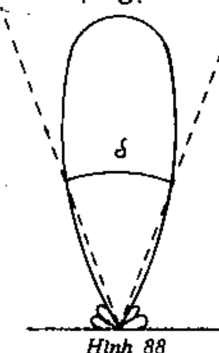
– Độ sáng của quang phổ kém hơn so với quang phổ tạo nên bởi lăng kính.

Chú ý : Do có những đặc điểm khác nhau của hai loại kính trên mà chúng được sử dụng ưu tiên cho những đối tượng quan sát khác nhau. Chẳng hạn như khi nghiên cứu các nguồn rất sáng (Mặt Trời) thì người ta sử dụng kính quang phổ cách tử để lợi dụng độ tán sắc lớn trong các quang phổ bậc cao.

## §81. KÍNH THIÊN VĂN VÔ TUYẾN

Vào năm 1931 – 1932 Ianxki kĩ sư người Italia nghiên cứu truyền sóng vô tuyến điện đã nhận thấy có sự tăng "tiếng ồn" ở phần sóng cực ngắn (bước sóng vào cỡ cm– m) vào những giờ nhất định. Về sau người ta biết rằng những giờ nhất định mà Ianxki đã ghi ở trên ứng với những giờ sao xác định, hay nói cách khác ứng với những thiên thể nằm đúng theo hướng thu của ăngten cố định mà Ianxki đã nghiên cứu. Những thiên thể đó nằm trong giải Ngân Hà. Từ đó người ta cho rằng Ngân Hà bức xạ đủ loại sóng điện từ kể cả sóng vô tuyến. Quả vậy ngày nay người ta đã thu được sóng vô tuyến bức xạ từ các thiên thể, kể cả Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh... và được gọi là bức xạ vô tuyến vũ trụ.

Về nguyên tắc người ta có thể nghiên cứu lí tính của các thiên thể qua phổ bức xạ vô tuyến của chúng. Ở đây bức xạ vô tuyến được thu bằng một loại ăngten đặc biệt. Như vậy bộ phận chủ yếu của kính thiên văn vô tuyến là ăngten. Các ăngten thu bước sóng cỡ milimet, centimet, đêximet và mét thường có dạng một parabôl phản xạ. Tại tiêu điểm của mặt parabôl đặt bộ phận thu sóng (H.88)



*Hình 88*

Sóng thu được truyền đến một máy khuếch đại và sau khi tách sóng thì tín hiệu được ghi lên băng nhờ một loại máy điện tử tự ghi.

Năng suất phân giải của ăngten parabôl phản xạ cũng được tính theo công thức đã biết (9.7)

$$e = 1{,}22\,\frac{\lambda}{D}$$

Để mô tả năng suất phân giải của một kính thiên văn vô tuyến người ta hay dùng một đặc trưng riêng – biểu đồ định hướng. Biểu đồ định hướng biểu thị mối liên hệ giữa độ nhạy

của kính thiên văn vô tuyến với vị trí của nguồn bức xạ điểm đối với ăngten. Kính thiên văn vô tuyến với ăngten dạng parabôl đối xứng có biểu đồ định hướng đối xứng qua trục của nó (H.88).

Năng suất phân giải (tức khoảng cách góc cực tiểu giữa 2 điểm của nguồn bức xạ còn có thể thu sóng riêng biệt được gần bằng bề rộng của biểu đồ (góc $\delta$).

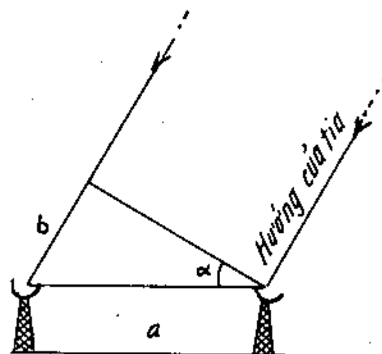
Vì bước sóng vô tuyến rất lớn (so với bước sóng quang học) nên dù cho ăngten có đường kính lớn cũng chỉ cho được năng suất phân giải bé. Chẳng hạn như ăngten parabôl lớn nhất hiện nay (D = 300m) hoạt động đối với bước sóng 70cm có năng suất phân giải

$$e = 1{,}22\,\frac{\lambda}{D} = 1{,}22\,.\,\frac{0{,}7}{300} = 2{,}5\,.\,10^{-3}\ \text{rad} = 10',$$

tức là vào khoảng hàng trăm lần bé hơn năng suất phân giải của một kính thiên văn quang học trung bình.

Nhược điểm trên có thể khắc phục bằng phương pháp giao thoa kế vô tuyến.

Giao thoa kế vô tuyến là một hệ hai ăngten đặt cách nhau một khoảng a được gọi là đế của giao thoa kế. Bộ phận thu sóng của hai ăngten này truyền tín hiệu đến cùng một máy thu (H.89).



Hình 89

Sóng vô tuyến từ thiên thể truyền đến 2 ăngten không đồng thời. Nếu sự trễ đó bằng một số nguyên bước sóng (cùng pha)

$$b = a\sin\alpha = n\lambda$$

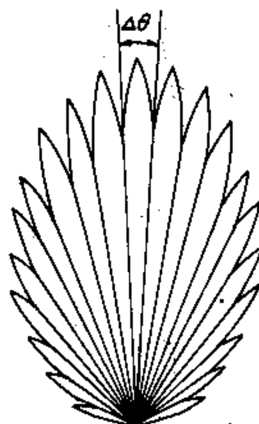
thì các tín hiệu vào máy thu được cộng với nhau. Ngược lại nếu

$$b = a\sin\alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

thì các tín hiệu khử lẫn nhau. Từ đó biểu đồ định hướng của giao thoa kế gồm một số lá nhỏ có khoảng cách góc giữa các cực đại (hay cực tiểu) của tín hiệu bằng

$$\Delta\theta = \arcsin\left(\frac{n+1}{a}\right)\lambda - \arcsin\frac{n\lambda}{a} \approx \frac{\lambda}{a}$$

dọc theo phương song song với đế a. Các lá này được xếp lên biểu đồ định hướng của một ăngten đơn và ta được biểu đồ định hướng toàn bộ có dạng trên hình 90.



*Hình 90*

Khoảng cách a (đế a) có thể có trị số rất lớn

$$a >> D$$

và như vậy bằng giao thoa kế ta có thể phân giải được những nguồn điểm ở khá gần nhau.

Nếu kích thước góc của nguồn lớn hơn $\Delta\theta$ thì giao thoa kế không ghi được sóng bức xạ của nó. Bằng cách thay đổi độ lớn của đế a, ta có thể xác định kích thước và sự phân bố cường độ của nguồn dọc theo một trục tọa độ nào đó. Sau khi tiến hành một loạt quan trắc theo một hướng khác của đế a, ta sẽ thu được sự phân bố cường độ theo trục tọa độ mới này.

Trong những năm gần đây người ta đã dùng loại kính giao thoa vô tuyến có hai máy thu khác nhau, cho nên có thể bố trí hai ăngten ở cách nhau đến hàng ngàn kilômet. Bằng loại kính này người ta có thể thu được góc phân giải đến cỡ $10^{-4}$ giây, tức là có năng suất phân giải tốt hơn kính thiên văn quang học rất nhiều.

Nhờ sự phát triển mạnh mẽ của kĩ thuật thiên văn vô tuyến, ngày nay người ta đã nghiên cứu được bức xạ vô tuyến của Mặt Trời, Mặt Trăng, của các hành tinh, của nhiều đối tượng khác trong vũ trụ (trong thiên hà và ngoài thiên hà của chúng ta).

Người ta đã phát hiện được những đối tượng bức xạ cực kì đặc biệt ở ngoài thiên hà của chúng ta như quaza (§120), punxa (§113).

Một ưu điểm nổi bật nữa của kính thiên văn vô tuyến so với kính quang học là ở chỗ nó cho phép ta quan sát các thiên thể bất kì ban ngày hay ban đêm và không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết. Cần biết rằng, ngày nay người ta đã sáng chế ra nhiều loại kính để nghiên cứu đủ các loại bức xạ khác kể cả nơtrinô*.

## §82. PHƯƠNG PHÁP VÔ TUYẾN ĐỊNH VỊ (Rada)

Người ta phóng những xung vô tuyến điện mạnh lên các thiên thể và thu lại xung phản hồi. Từ thời gian truyền khứ hồi của xung đó sẽ tính được khoảng cách đến thiên thể.

Qua hình dạng của xung có thể đoán nhận về hình dạng và mức độ nhẵn của bề mặt thiên thể. Cũng có thể xác định sự quay của thiên thể qua hiệu ứng Đôple.

Dĩ nhiên phương pháp vô tuyến định vị này chỉ áp dụng để nghiên cứu các thiên thể ở gần (trong hệ Mặt Trời).

Những kết quả nghiên cứu của phương pháp vô tuyến định vị đã xác nhận các kết quả đo đạc theo các phương pháp khác.

## §83. PHƯƠNG PHÁP CHỤP ẢNH CÁC THIÊN THỂ

Nghiên cứu các thiên thể bằng phương pháp chụp ảnh đã được bắt đầu từ giữa thế kỉ XIX. Hiện nay nó vẫn là một phương pháp nghiên cứu có hiệu quả vì các lẽ sau :

* Xem phụ lục 5.

– Bằng các phim nhạy và thời gian chụp lâu, người ta có thể thu được ảnh của các thiên thể mà bình thường thì không thể nào thấy được.

– Mỗi lần chụp, ta thu được ảnh của một khu vực bầu trời gồm nhiều đối tượng và chi tiết khác nhau.

– Ảnh được lưu trữ lâu dài, cho phép ta dùng làm hồ sơ nghiên cứu trong phòng thí nghiệm.

– Chụp ảnh một khu vực nhất định của bầu trời ở nhiều thời điểm khác nhau cho phép ta phát hiện những thiên thể "lạ" như sao biến quang, sao mới...

Cần biết rằng, người ta không những chụp ảnh các thiên thể qua bức xạ quang học của chúng mà có thể chụp qua các loại bức xạ khác như hồng ngoại, rơnghen... Vấn đề là sử dụng những loại phim ảnh khác nhau ứng với các loại sóng bức xạ khác nhau.

Như vậy việc chụp ảnh các thiên thể qua các loại sóng bức xạ của chúng cho ta khả năng hiểu biết các thiên thể khá toàn diện.

Cần biết thêm rằng đối với các loại sóng chưa thể chụp ảnh được thì người ta lại dùng các phương pháp khác để thu tín hiệu như phương pháp nhiệt điện, quang điện v.v..